

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ШУКУРОВА ОЙСАРА ПЎЛАТОВНА

**ИДЕНТИФИКАЦИОН ЁНДАШУВ АСОСИДА
БОШҚАРУВ ОБЪЕКТЛАРИ ҲОЛАТИНИ
АДАПТИВ БАҲОЛАШ АЛГОРИТМЛАРИ**

**05.01.08 - Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва
бошқариш (техника фанлари)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент– 2020

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Шукурова Ойсара Пулатовна

Идентификацион ёндашув асосида бошқарув объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш алгоритмлари.....3

Шукурова Ойсара Пулатовна

Алгоритмы адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода21

Shukurova Oysara Pulatovna

Algorithms for adaptive assessment of the state of control objects based on the identification approach39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works42

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ШУКУРОВА ОЙСАРА ПЎЛАТОВНА

**ИДЕНТИФИКАЦИОН ЁНДАШУВ АСОСИДА
БОШҚАРУВ ОБЪЕКТЛАРИ ҲОЛАТИНИ
АДАПТИВ БАҲОЛАШ АЛГОРИТМЛАРИ**

**05.01.08 - Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва
бошқариш (техника фанлари)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент– 2020

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.3.PhD/Т402 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент давлат техника унiversитетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ҳамда «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: Зарипов Орипжон Олимович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: Исмаилов Мирхалил Агзамович
техника фанлари доктори, профессор

Ботиров Тўлқин Вафоқулович
техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот: Бухоро муҳандислик-технологиялари институти

Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил « 15 » 10 соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (162 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-03-41.)

Диссертация автореферати 2020 йил « 8 » 10 куни тарқатилди.
(2020 йил « 19 » 09 даги 21 рақамли реестр баённомаси).



[Handwritten signature]

Н.Р.Юсуибеков
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
т.ф.д., профессор, академик

[Handwritten signature]

У.Ф.Мамиров
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

[Handwritten signature]

Х.З.Игамбердиев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси
т.ф.д., профессор, академик

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда турли функционал мақсадлардаги технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва бошқариш масалаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу соҳада идентификацион ёндашув асосида бошқарув объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш учун тургун алгоритмларни ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан биридир. Шу сабабли, идентификацион ёндашувга асосланган бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг турли усул ва алгоритмларини ишлаб чиқиш жуда долзарб масалалардан ҳисобланади. Хорижий мамлакатларда идентификациялаш, динамик баҳолаш, технологик жараёнларни адаптив бошқариш ва уларнинг турли соҳаларда амалий қўлланилиши бўйича назарий муаммоларни ҳал қилишга катта эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда сўнгги вақтларда бу соҳада, кам энергия сарфи билан маҳсулот сифатини яхшилашга имкон берадиган технологик объектлар учун адаптив бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш ва амалда жорий этиш энг оммабоп масалалардан бўлиб қолмоқда. Динамик объектларни адаптив бошқариш масалаларини ҳал қилишга йўналтирилган, бошқарув объектлари ҳолатини баҳолашга универсал ёндашувни яратиш устида тадқиқотлар олиб борилмоқда. Шу муносабат билан, турли хил галаёнлар ва ҳалақитлар шароитида идентификациялаш усуллари асосида бошқариш объектларининг ҳолатини адаптив баҳолаш усуллари ва алгоритмларини такомиллаштириш ва янгилаш долзарб вазифа ҳисобланади.

Ҳозирги вақтда республикамизда автоматлаштириш ва бошқариш соҳаларига, шунингдек, турли технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва бошқаришда энергия ва ресурс тежамкорликни таъминлайдиган, такомиллашган бошқариш тизимларини яратишга катта эътибор қаратилмоқда. 2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Харакатлар стратегиясида «... иқтисодиётнинг энергия ва ресурс зичлигини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш, иқтисодий соҳаларда меҳнат унумдорлигини ошириш»¹ вазифалари белгиланган. Бундай вазифаларни амалга ошириш учун бошқариш объектларининг ҳолатини адаптив баҳолаш тизимларини яратиш муҳим ҳисобланади, бу эса бошқариладиган технологик объектлар ҳолатини адаптив баҳолашнинг самарали алгоритмларини ишлаб чиқишни талаб қилади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Харакатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони ва 2017 йил 13 февралдаги ПҚ-2772-сонли «2017-2021-йилларда электротехника саноатини бошқаришни янада такомиллаштириш, жадал ривожлантириш ва диверсификация қилиш

¹2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Харакатлар стратегияси тўғрисида»ги Ўзбекистон Республикаси Президентининг фармони

чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2018 йил 18 апрелдаги ПҚ-3673-сонли «Идоравий ахборот тизимларини жадал интеграциялаштириш ва инновацион лойиҳаларни амалга оширишга доир ташкилий чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарорларида ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг IV - «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Динамик объектларни аниқлаш, баҳолаш ва адаптив бошқариш усуллари ва алгоритмларини яратишга бағишланган илмий ишланмалар дунёнинг етакчи мамлакатларидаги илмий-тадқиқот марказлари ва университетларида жадал олиб борилмоқда.

Идентификация тушунчалари асосида адаптив бошқариш тизимларини синтезлаш масалаларига бағишланган кўплаб мақолалар чоп этилган, умумий назарий тушунчалар ишлаб чиқилган ва ҳал қилинган амалий масалалар сони ортиб бормоқда. Кўпгина хорижий олимлар адаптив усулларни ривожлантиришга катта ҳисса қўшганлар, жумладан S.Kaczmarz, Л.Льюнг, Ю.Е.Воскобойников, М.Ю.Медведев, А.Е.Кульченко, В.А.Шевченко, М.В.Жиров, А.Л.Бунич, О.З.Хасанов, С.А.Агвами, А.А.Бобцов, Н.Н.Карабутов, И.Б.Фуртат, В.Н.Овчаренко, В.А.Морозов, А.Н.Тихонов, А.Б.Бакушинский, А.Е.Барабанов ва бошқалар, шунингдек мамлакатимиз олимларидан Ш.М.Гулямов, О.О.Зарипов, Х.З.Игамбердиев, М.А.Исмаилов, А.А.Кадиров, Н.З.Камалов, М.М.Камилов, Ж.У.Севинов, А.Н.Юсупбеков ва бошқалар ўзларининг улкан ҳиссаларини қўшишган.

Бирок, илмий тадқиқотлар доирасининг доимий мураккаблашуви ва кенгайиши псевдомурожаат ва сингуляр ёйиш концепциялари асосида тургун идентификациялаш алгоритмларини ишлаб чиқишни талаб қилади. Бундан ташқари, динамик бошқариш объектларида галаёнларнинг статистик хусусиятларини баҳолаш, галаёнларни номаълум жадаллигида адаптив филтрлаш, шунингдек объектдаги шовқин ва ўлчаш ҳалақитлари ковариация матрицаларини созлаш билан адаптив баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш мақсадга мувофиқ бўлади. Бундан ташқари, номаълум жадалликда галаёнларнинг статистик характеристикаларини, шунингдек, объектдаги шовқин ва ўлчаш ҳалақитлари ковариацион матрицаларини созлаш билан баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш тавсия этилади. Юқоридагиларга боғлиқ ҳолда, идентификациялаш усуллари асосида самарали адаптив баҳолаш алгоритмларини яратиш ва янада кенгайтиришнинг фавқулодда эҳтиёжлари пайдо бўлади.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-

тадқиқот ишлари режаларининг А-5-42-«Априор ноаниқлик шароитида технологик объектларни автоматлаштирилган мониторинги ва бошқаришни интеллектуллаштиришнинг дастурий инструментал воситаси» (2015-2017); ОТ-Ф4-78-«Идентификацион ёндашув асосида динамик объектларни адаптив бошқариш системалари синтезининг назарий асослари ва мунтазам усуллари ишлаб чиқиш» (2017-2020) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади идентификацион ёндашув асосида бошқарув объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш алгоритмлари ва ҳисоблаш схемаларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

идентификацион ёндашув асосида бошқарув объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш усуллари ва алгоритмлари ривожланишини тизимли таҳлил қилиш;

чизикли динамик бошқариш объектларини идентификациялашнинг тургун алгоритмларини ишлаб чиқиш;

катта ўлчамли бошқариш объектларини идентификациялашнинг итерацион алгоритмларини ишлаб чиқиш;

ноортогонал факторлаштириш асосида чизикли динамик бошқариш объектларини идентификациялаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

бошқариш объектлари ҳолат векторини адаптив баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

динамик бошқариш объектларида галаёнларнинг статистик характеристикаларини баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

объектдаги шовкин ва ўлчаш ҳалакитлари ковариацион матрицаларини созлаш билан адаптив баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

аниқ технологик объектларни бошқаришнинг адаптив тизимларини синтезлаш масаласини ечишда идентификацион ёндашув асосида бошқарув объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг ишлаб чиқилган алгоритмлари ва ҳисоблаш схемаларини амалий синовдан ўтказиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида идентификацион ёндашув асосида бошқарув объектлари ҳолатини баҳолаш алгоритмлари олинган.

Тадқиқотнинг предмети идентификацион ёндашув асосида бошқарув объектлари ҳолатини баҳолашнинг адаптив тургун алгоритмлари ва усуллари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишида тизимли таҳлил, идентификациялаш, баҳолаш, адаптив бошқариш ва нокоррект қуйилган масалаларни ечишнинг умумий услубиятларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги:

операторли тенгламаларни ечишнинг икки босқичли ҳисоблаш схемаси асосида чизикли динамик бошқариш объектларини мунтазам идентификациялаш алгоритми ишлаб чиқилган;

псевдомурожаат ва сингуляр ёйиш концепцияларидан фойдаланиб бошқариш объектларини идентификациялашнинг тургун алгоритмлари ишлаб чиқилган;

ночизикли функционал тенгламаларни ечиш усуллари асосида ковариацион матрицаларни идентификациялашнинг турғун алгоритмлари ишлаб чиқилган;

Калман типдаги динамик фильтр асосида объектдаги шовқин ва ўлчаш ҳалакитлари ковариацион матрицаларини созлаш билан адаптив баҳолашнинг турғун алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

саноат тажрибаси натижалари асосида меъёрий иш шароитида табиий газни абсорбция усулида тозалаш жараёнининг математик модели ишлаб чиқилган;

абсорбция усули билан табиий газни тозалаш технологик жараёнини адаптив бошқариш ҳамда автоматлаштиришнинг функционал схемалари ишлаб чиқилган;

жараён боришининг технологик режимларини барқарорлаштириш ва уларнинг самарадорлигини ошириш имконини берувчи техник таъминотга мувофиқ ҳолда табиий газни абсорбция усулида тозалаш технологик жараёнини бошқариш тизими таклиф қилинган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги услубий жиҳатдан асосланган назарий ҳисоб-китобларни амалга оширилиши; ҳолатни адаптив баҳолашнинг назарий жиҳатдан асосланган концепцияларини қўлланилиши; замонавий автоматик бошқариш назариясининг амалий синовдан ўтган усул ва алгоритмларини ишлатилиши; таклиф этилаётган адаптив бошқариш усуллари ва алгоритмларининг зарурий яқинлашиш даражаси; назарий ва амалий тадқиқотларнинг олинган натижалари ва уларнинг ўзаро мувофиқлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти қарор қабул қилишнинг юқори даражасига эга бўлган янада ривожланган бошқариш тизимларини синтезлашга имкон берувчи, идентификацион ёндашувга асосланган бошқариш объектлари ҳолатини баҳолашнинг адаптив конструктив алгоритмларини ишлаб чиқиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти идентификацион ёндашув асосида бошқариш объекти ҳолатини адаптив баҳолаш масалаларини математик ва алгоритмик таъминотини ишлаб чиқиш билан изоҳланади. Ишлаб чиқилган алгоритмлар узлуксиз характерли ишлаб чиқариш технологик жараёнларини бошқаришнинг адаптив тизимлари функционал структураларини куриш ва лойиҳалашни автоматлаштиришда кенг қўлланилиши мумкин.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Идентификацион ёндашув асосида бошқарув объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш бўйича олинган натижалар асосида:

операторли тенгламаларни ечишнинг икки босқичли ҳисоблаш схемаси асосида чизикли динамик бошқариш объектларини идентификациялашнинг турғун алгоритмлари «Муборак ГҚИЗ» да жорий қилинган («O‘zbekneftgaz»

АЖнинг 2020 йил 2 мартдаги 08-34-2-52-сон маълумотномаси). Натижада, ростлагичлар параметрларини ҳисоблаш аниклиги ошишига имкон берган;

псевдомурожаат ва сингуляр ёйиш концепцияларидан фойдаланиб бошқариш объектларини идентификациялашнинг ишлаб чиқилган тургун алгоритмлари «Муборак ГҚИЗ» да жорий этилган («O'zbekneftgaz» АЖнинг 2020 йил 2 мартдаги 08-34-2-52-сон маълумотномаси). Натижада, табиий газни абсорбция усули билан тозалаш жараёнининг технологик режимлари ўтишини барқарорлаштириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқотнинг назарий ва амалий натижалари 4 та халқаро ва 5 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 20 та илмий иш, шулардан 9 таси Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларида, жумладан 3 таси хорижий журналларда, 9 та тезис республика ва халқаро конференцияларда чоп этилган. ЭХМ учун дастурий маҳсулотга 1 та гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 114 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объект ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги асосланиб, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, тадқиқот натижаларини апробацияси, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Идентификацион ёндашув асосида бошқарув объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг масала ва алгоритмлари»** деб номланган биринчи бобида динамик объектларни адаптив бошқариш тизимларини синтезлаш усуллари ва алгоритмлари, бошқариш объектларининг ҳолатини адаптив баҳолаш, тадқиқот мақсад ва вазифаларининг кўйилиши келтирилган.

Бошқариш объектларининг ишлаш вақтида галаён таъсирлар одатда маълум чегараларда ўзгариб туради. Бундай ҳолларда ёки галаён таъсирларнинг хусусиятлари тахмин қилинади ёки филтёр параметрлари тўғридан-тўғри ўрнатилади. Бу ерда галаёнларнинг хусусиятларини тўғридан-тўғри баҳолашга асосланган идентификацион ёндашув усули янада фойдали бўлиб чиқади. Бу ерда ҳисоблашдаги қийинчиликлар ечилаётган муаммоларнинг ёмон шартланганлиги туфайли юзага келади. Шундай қилиб,

мунтазамлаш усулларидан фойдаланиш зарурияти туғилади. Юқоридаги хулосалар идентификацион ёндашув ва мунтазамлаштириш усуллари асосида бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва уларни аниқ ишлаб чиқариш жараёнларини автоматлаштириш ва бошқариш масалаларини ечишда амалий қўллашга бағишланган ушбу диссертация ишининг мақсадини белгилайди.

Диссертациянинг «**Динамик бошқариш объектларини турғун идентификациялаш алгоритмларини ишлаб чиқиш**» деб номланган иккинчи боби чизикли динамик бошқариш объектларини турғун идентификациялаш алгоритмларини ишлаб чиқиш, катта ўлчамли бошқариш объектларини идентификациялашнинг итерацион алгоритмлари, псевдомурожаат концепцияси асосида чизикли динамик бошқариш объектларини идентификациялаш, мунтазам усуллар асосида бошқариш объектлари параметрларини баҳолаш, бошқарилувчи каноник шаклдаги ҳолат тенгламалари ёрдамида узатиш функцияларини рақамли моделлаштиришга бағишланган.

Амалда моделлар бир мунча вақт олдинроқ объект чиқишини башоратлаш ёки бошқариш контурини ҳисоблаш учун ишлатилади. Биринчи ҳолатда, моделдан башоратлашнинг имкон қадар кичик хатолиги, иккинчи ҳолатда – бошқариладиган объект параметрларини яхши баҳолаш талаб қилинади. Яхши башоратлаш параметрларнинг аниқ баҳосига нисбатан анча осон. Бу ҳолатнинг асосий сабаби идентификация мезонларидир. Ўртача квадратик мезон башоратлаш хатолигини минималлаштириш вазифасига тўла мос келади. Шунинг учун параметрлар баҳоси ёмон бўлиши мумкин. Идентификациялашнинг ўртача квадратик аниқлаш мезони ёрдамида аниқ баҳолаш масаласини ҳал қилиш учун фойдаланиладиган априор маълумотлар даражасига қўшимча талаблар қўйиш керак бўлади.

Фарқ тенгламаси кўринишидаги бир ўлчамли чизикли динамик тизимнинг моделини кўриб чиқамиз:

$$a_0 y(i) + a_1 y(i-1) + \dots + a_n y(i-n) = b_0 u(i) + b_1 u(i-1) + \dots + b_m u(i-m), \quad (1)$$

бунда $a_0, \dots, a_n, b_0, \dots, b_m$ - модель коэффициентлари; $y(i)$ ва $u(i)$ - i -вақт momentiдаги тизимнинг мос кириш ва чиқиш қийматлари; n ва m - модель тартиби ($n \geq m$).

(1) моделни, ташқи шовқинни ҳисобга олган ҳолда, тизим чиқиш қийматлари $N-n$ кетма-кетлиги учун ёзамиз:

$$y = F\theta + \varepsilon, \quad (2)$$

бунда $y^T = (y(n+1), y(n+2), \dots, y(N))$ - тизимнинг чиқиш ўзгарувчилари қийматлари вектори:

$$F = \begin{pmatrix} u(n+1) & \dots & u(n+1-m) & y(n) & \dots & y(1) \\ u(n+2) & \dots & u(n+2-m) & y(n+1) & \dots & y(2) \\ \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ u(N) & \dots & u(N-m) & y(N-1) & \dots & y(N-n) \end{pmatrix} \quad - \quad \text{кузатишлар}$$

матрицаси; $\theta^T = (b_0, b_1, \dots, b_m, \dots, -a_1, \dots, -a_n)$ - (1) моделнинг вектор

параметрлари; $a_0 = 1$; $\varepsilon^T = (\varepsilon(n+1), \varepsilon(n+2), \dots, \varepsilon(N))$ – модел вектори колдиклари.

Изланган θ векторни тургун баҳолаш учун мунтазамлаштириш усулини қўлаймиз. Дастлабки маълумотларнинг яқинлашишлари учун қуйидаги шартлар қониқарли деб олинади: $\|F - \bar{F}\| \leq h$, $\|y - \bar{y}\| \leq \delta$, бунда \bar{F} ва \bar{y} – (2) тенгламанинг ўнг томони ва матрица операторининг аниқ қиймати.

θ_α – тахминий маълумотлар билан тартибланган масала ечими бўлсин:
 $\inf_{\theta} \Phi_\alpha[\theta] = \Phi_\alpha[\theta_\alpha]$, $\Phi_\alpha[\theta] = \|F\theta - y\|^2 + \alpha\|\theta\|^2$.

Кейинги зарур бўлган оператор идентификаторини кўриб чиқамиз:

$$(\bar{F}^T \bar{F} + \alpha I)^{-1} \bar{F}^T = \bar{F}^T (\bar{F} \bar{F}^T + \alpha I)^{-1},$$

бу нисбат чапда $\bar{F}^T \bar{F} + \alpha I$ га ва ўнгда $\bar{F} \bar{F}^T + \alpha I$ га кўпайтириш орқали текширилади.

Шарт бўйича: $\bar{y} = \bar{F} \bar{\theta}_y$, бўлса, у ҳолда $\bar{\theta}_\alpha - \bar{\theta}_y = -\alpha (\bar{F}^T \bar{F} + \alpha I)^{-1} \bar{\theta}_y$, бунда θ_y – (2) тенгламанинг псевдоечими.

Берилган шартларда, h ва δ га боғлиқ бўлмаган, мавжуд баҳолаш моҳиятини англаувчи $K < +\infty$ доимий мавжудлигини кўрсатиш мумкин:

$$\inf_{\alpha} \|\theta_\alpha - \bar{\theta}_y\|_H \leq K(\delta + h), \quad \bar{\theta}_y = \bar{\theta}_{y_0}. \quad (3)$$

(2) тенгламанинг тартибланган ечимини топиш учун қуйидаги икки босқичли мунтазамлаш схемадан фойдаланиш мумкин:

$$g_\alpha = (FF^T + \alpha I)^{-1} FF^T y, \quad (4)$$

$$q_\alpha^* = (F^T F + \alpha I)^{-1} F^T g_\alpha. \quad (5)$$

(4), (5) ҳисоблаш схемасидан фойдаланишда $\alpha = h$ ни қабул қилиш муҳимдир. (3) баҳолаш моҳияти тўғри қўйилган масалалар учун ҳам бир хил эканлиги муҳим аҳамиятга эга. Бу мунтазамлаштириш усули кўриб чиқиладиган шартларда аниқлик учун энг макбул эканлигини англатади.

Динамик бошқариш объектларини аниқлашнинг кўплаб амалий муаммоларини ҳал қилишда қуйидаги катта ўлчамдаги тахминий чизикли алгебраик тенгламалар тизимини ҳисобга олишимиз керак:

$$Au = f, \quad (6)$$

бунда $A = (a_{ij}) \in R^{m \times n}$, $f = (f_1, \dots, f_m)^T \in R^m$, $u = (u_1, \dots, u_n)^T \in R^n$.

(6) тенглама учун яқинлашиш шартлари қуйидаги шаклда олинади:

$$\|A - \bar{A}\| \leq h, \quad \|f - \bar{f}\| \leq \delta,$$

бунда \bar{A} ва \bar{f} – мос равишда матрица операторининг аниқ қийматлари ва (6) тенгламанинг ўнг томони.

$u_* = A^+ f$ нормал псевдоечим нормал тенгламалар системаси учун нормал ечим ҳисобланади:

$$A^T Au = A^T f, \quad (7)$$

ёки $A^T r = 0$, бунда $r = f - Au$.

Одатда (7) тенгламани ечишда А.Н.Тихоновнинг мунтазамлаштириш усули қўлланилади:

$$(A^T A + \alpha I)u = A^T f. \quad (8)$$

(8) мунтазам нормал тенгламалар системасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\left(\begin{array}{c|c} \omega I_m & A \\ \hline A^T & -\omega I_n \end{array} \right) \begin{pmatrix} y \\ u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f \\ 0 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \tilde{A}_\omega z = \tilde{f}, \quad (9)$$

бунда $\omega = \sqrt{\alpha}$.

(9) тизимдаги матрица \tilde{A}_ω барча $\alpha > 0$ ларда бузилмайди ва унинг ягона ечими $z_* = (y_*^T, u_*^T)^T$ вектор ҳисобланади, бунда $u_* = (A^T A + \alpha I_n)^{-1} A^T f$, $y_* = \omega^{-1} r_*$, $r_* = f - Au_*$.

Кенгайтирилган (9) тизимни иккита тенглама тизими шаклида ёзамиз:

$$\begin{aligned} (\omega I_m : A)z &= f, \\ (A^T : -\omega I_n)z &= 0. \end{aligned} \quad (10)$$

$z = (\omega I_m : A)^+ f$ тенгламасига асосан z катталигини ҳисоблашда (10) псевдотескари матрица $(\omega I_m : A)^+$ ни қуйидаги кўринишда берамиз:

$$(\omega I_m : A)^+ = (\omega I_m : A)^T \left[(\omega I_m : A)(\omega I_m : A)^T \right]^{-1}.$$

Қуйидаги $(\omega I_m : A)$ аниқликни ҳисобга олиб, белгилаймиз:

$$F = \left[(\omega I_m : A)(\omega I_m : A)^T \right],$$

бунда F – симметрик, манфий бўлмаган носимметрик $(m+n) \times (m+n)$ ўлчамдаги, аниқ ўлчамли матрица.

Симметрик матрицани диагонал шаклда ифодалаймиз:

$$F = TUT^T,$$

бунда $T = (t_1 \mid t_2 \mid \dots \mid t_{m+n})$ – ортогонал блок, U – диагонал матрица.

У ҳолда, қуйидагини ёзиш мумкин:

$$F^+ = \sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^{-1} t_i t_i^T,$$

бунда $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_{m+n} > 0$ – F матрицаси хусусий сони.

Шундай қилиб:

$$(\omega I_m : A)^+ = (\omega I_m : A)^T F^+, \quad z = (\omega I_m : A)^T F^+ f.$$

Самарали псевдомурожаат усули $H = (\omega I_m : A)$ матрицанинг сингуляр ёйилишига асосланган, яъни у қуйидаги кўринишда берилиши мумкин:

$$H = USV^T,$$

бунда U – ортогонал $(N \times 2p)$ – матрица; V^T – ортогонал $(2p \times N)$ – матрица; S – диагонал $(2p \times 2p)$ – матрица.

U ва V матрицаларнинг u_i ва v_i устунлари $H^T H$ матрицанинг хусусий векторлари моҳияти, S матрицанинг μ_i диагонал элементлари эса – $H^T H$ матрицанинг λ_i хусусий қийматларидан мусбат илдизларидир.

H^+ псевдотескари матрица Муру-Пенроузу бўйича қуйидаги баҳони олишга имкон беради:

$$H^+ = VS^+U^T = \sum_{i=1}^r \frac{1}{\mu_i} v_i u_i^T,$$

бунда $S^+ = \text{diag}(s_1^+, \dots, s_r^+)$ – S матрица учун псевдотескари матрица; r – H матрица даражаси, яъни сингуляр қийматларда нолдан фарқли бўлган сон; агар $\mu_i \neq 0$ бўлса $s_i^+ = 1/\mu_i$, ва агар $\mu_i = 0$ бўлса $s_i^+ = 0$.

Келтирилган алгоритмлар катта ўлчамдаги идентификациялашнинг ноқоррект масалаларини самарали ҳал қилиш ва бошқаришнинг ёпиқ тизимларида бошқариш жараёнлари сифатини яхшилаш имконини беради.

Ушбу бобда шунингдек, мунтазам усуллар асосида бошқариш объектлари параметрларини баҳолаш алгоритмлари, бошқариладиган каноник шаклдаги ҳолат тенгламаси ёрдамида ўтиш функциясини ракамли моделлаштириш масалалари ҳам қараб чиқилган.

Диссертациянинг «**Бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш алгоритмлари**» деб номланган учинчи боб ҳолат векторини адаптив баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш, динамик бошқариш объектларида галаёнлар статистик хусусиятларини баҳолаш, объектдаги шовқин ва ўлчаш ҳалақитлари номаълум жадаллигида адаптив филтрлаш, шунингдек, объектдаги шовқин ва ўлчаш ҳалақитлари ковариацион матрицаларини созлаш билан адаптив баҳолаш масалаларига багишланган.

Тизимнинг Калман филтридаги Q ва R ковариация матрицаларидан ташқари барча матрицалари аниқ берилган масалаларни қараб чиқамиз. Бундай вазиятлар учун фақат ва фақат $Q = \hat{Q}$ ва $R = \hat{R}$ бўлгандагина қуйидаги шарт бажарилади: $E(v_t v_t^T) - HP_{t|t-1} H^T - R = 0$ ва $E(v_t v_j^T) = 0, t \neq j$.

Шундай қилиб, зарурий ва етарли шартлар, алмаштиришлар кетма-кетлигида идентификациялаш учун Q ва R матрица керакли маълумотларни беради ва қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\begin{aligned} E(v_t v_t^T) - HP_{t|t-1} H^T - R &= 0, \\ E(v_t v_{t-1}^T) &= HA(I - K_{t-1}H)[P_{t-1|t-2} H^T - K_{t-1}R] = 0, \end{aligned} \quad (11)$$

.....

$$E(v_t v_{t-m}^T) = HA(I - K_{t-1}H)A \dots A(I - K_{t-m})[P_{t-m|t-m-1} H^T - K_{t-m}R] = 0,$$

бунда $E(v_t v_t^T)$ ва $E(v_t v_{t-k}^T) - v_t$ кетма-кетликни алмаштирувчи ковариацион матрицалар.

(11) тенгламалар тизимини қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$S(c) = 0, \quad (12)$$

бунда $S(c)$ – ночизикли оператор, c – Q ва R ковариацион матрицалари диагональ элементларидан таркиб топган вектор.

(12) тенгламалар тизимини Ньютон усули формулаларига мувофиқ ечими қуйидагига тенг бўлади:

$$c_{k+1} = c_k - S'(c_k)^{-1} S(c_k),$$

кашонки, $m = n$ ва $S'(c)$ матрица (12) тизими ечими изланаётган соҳада деярли бузилмайдиган бўлган ҳолатларда мумкин.

Агар $\text{rang} S'(c^*) = r < n$, бўлса, у ҳолда:

$$S'(c)^+ = [S'(c^*)^T S'(c^*)]^{-1} S'(c^*)^T,$$

ва итерациялар куйидаги формула бўйича амалга оширилади:

$$c_{k+1} = c_k - \gamma_k [S'(c_k^*)^T S'(c_k^*)]^{-1} S'(c_k^*)^T S(c_k), \quad (13)$$

бунда γ_k параметрлари махсус усуллар билан танланади.

Алгоритм (13) дан $S'(c^*)^T S'(c^*)$ қайтарилмас бўлган вазиятларда бевосита фойдаланиб бўлмайди. Бу алгоритмни c^* нуктанинг кичик соҳаларида қўллаш имкони бўлмайди. Бундан ташқари, агар $\text{rang} S'(c) \neq r$ соҳада барча $c \neq c^*$ бўлса, у ҳолда $S'(c)^+$ ҳисоблаш (13) да қўлланилиши амалда имконсиздир. Бундай вазиятларда $S'(c)$ матрицани унга яқин бўлган чегарадаги $Q(c)$ матрица билан r даражада $Q(c)^+$ ни ҳисоблаш имкони бўлиши учун алмаштириш керак бўлади. Табиийки $Q(c)$ матрицани шундай танлаш керак, бунда $c \rightarrow c^*$ да нафақат $\lim Q(c) = S'(c^*)$ муносабат, балки $\lim Q(c)^+ = S'(c^*)^+$ муносабат ҳам бажарилиши керак.

$D(c_k) - S'(c_k)$ матрицанинг чизикли-боглиқ бўлмаган r устунларидан ташкил топган матрица, $C(c_k) -$ куйидаги матрица тенгламасидан ҳисобланган матрица бўлсин:

$$M(c_k)C(c_k) = N(c_k),$$

бунда $N(c_k) - S'(c_k)$ матрицанинг амалда чизикли-боглиқ бўлмаган баъзи бир r қаторларидан ташкил топган матрица, $M(c_k)$ матрица эса $D(c_k)$ ва $N(c_k)$ матрицалар кесишишида ётувчи элементлардан ташкил топган. Унда қўямиз:

$$Q(c_k) = D(c_k)C(c_k).$$

Буларга асосан, формулаларда $S'(c_k)^+$ ўрнига куйидаги матрица олинади деб ҳисоблаймиз:

$$Q(c_k)^+ = C(c_k)^+ D(c_k)^+ = C(c_k)^T (C(c_k)C(c_k)^T)^{-1} (D(c_k)^T D(c_k)) D(c_k)^T.$$

Ҳисоблашлар куйидаги формулалар бўйича бажарилади:

$$c_{k+1} = c_k - Q(c_k)^+ S(c_k).$$

Шундай килиб, келтирилган ночизикли функционал тенгламаларни ечиш усуллари концепцияси асосида объектдаги шовқин ва ўлчаш ҳалақитлари ковариацион матрицасини мунтазам баҳолаш алгоритмлари, керакли ечимнинг мос келишини таъминлайди ва адаптив баҳолаш жараёни аниклигини оширишга имкон беради.

Объектдаги шовқин ва ўлчаш ҳалақитлари ковариацион матрицасини созлаш билан адаптив баҳолаш алгоритмларини қараймиз.

Кузатув объекти чизикли модель билан ифодалансин:

$$x_t = A_{t-1}x_{t-1} + B_t w_t, \quad y_t = C_t x_t + v_t, \quad 1 \leq t \leq T,$$

$x_t - n$ ўлчамдаги вектор ҳолати; $y_t - m$ ўлчамдаги ўлчаш вектори; $w_t - l$

ўлчамдаги объект шовқини; v_t – ўлчаш ҳалақитлари. Матрицалар A_t, B_t, C_t нинг тегишли ўлчамлари маълум.

Ихтиёрий моделда $RT(\xi)$ – охириги ўлчашдаги $\varepsilon_T = y_T - C_T \hat{x}_{T/T-1}$ башоратлаш хатолиги ковариацион матрицаси. У ҳолда бу модель сифат кўрсаткичини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$F(\xi) = \text{tr}(R_T(\xi)S),$$

бунда S – ε_T векторининг турли компонентларини ифодаловчи коэффицентлар билан аниқланган номанфий матрица.

Функция F ни градиентли усул билан минималлаштириш мумкин, бунда унинг хусусий ҳосиласини барча ξ элементлар бўйича ҳисоблаш талаб қилинади. Гаусс-Ньютон итератив алгоритми кўпгина ўзгарувчилар функциясини минималлаштиришнинг самарали усулларида бири сифатида ишлатилади.

Жорий ξ_c нуқта бўйича кейинги ξ_+ нуқтани топишга имкон берадиган Гаусс-Ньютон усули $F(\xi)$ функцияни жорий нуқтага ξ_c яқин бўлган аффинали модели билан яқинлаштиришга асосланган:

$$M_c(\xi) = F(\xi_c) + J(\xi_c)(\xi - \xi_c) = F(\xi_c) + J(\xi_c)\Delta\xi,$$

ва мос ҳолда ночизикли энг кичик квадратлар масаласини чизикли энг кичик квадратлар масаласи билан алмаштиради:

$$\|M_c(\xi)\|^2 / 2 = \|F(\xi_c) + J(\xi_c)\Delta\xi\|^2 / 2 = \varepsilon_c / 2, \quad (14)$$

бунда $\varepsilon_c = \|F(\xi_c) + J(\xi_c)\Delta\xi\|^2$ – тенглама қолдиги:

$$J(\xi_c)\Delta\xi = -F(\xi_c). \quad (15)$$

Кўпинча $J(\xi_c) \in R^{m \times n}$ матрица умумий кўринишдаги матрицаси бўлган ҳолатлар учрайди, аммо (15) тенглама мослик шарти бажарилиши қуйидаги кўринишда бўлар экан:

$$J(\xi_c)J^+(\xi_c)F(\xi_c) = F(\xi_c), \quad (16)$$

бунда $J^+(\xi_c) \in R^{n \times m}$ – $J(\xi_c)$ матрицага псевдотескари.

У ҳолда (15) тенгламанинг ечими қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\Delta\xi = -J^+(\xi_c)F(\xi_c) + [I - J^+(\xi_c)J(\xi_c)]y, \quad \xi_+ = \xi_c + \Delta\xi. \quad (17)$$

Ушбу ечим (16) шарт билан бирга бажарилса, ягона ҳисобланади:

$$J^+(\xi_c)J(\xi_c) = I,$$

ва қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\Delta\xi = -J^+(\xi_c)F(\xi_c), \quad \xi_+ = \xi_c + \Delta\xi. \quad (18)$$

Бошқа ҳолларда (17) дан ягона ечимни танлаш у ёки бу кўшимча талабларга жавоб бериши керак бўлади, масалан, талаб топилсин:

$$\min \|\Delta\xi\|, \quad \Delta\xi = -J^+(\xi_c)F(\xi_c) + [I - J^+(\xi_c)J(\xi_c)]y. \quad (19)$$

Энг ишонарли ҳолатлар $J(\xi_c)$ матрица умумий кўринишга эга бўлса ва (16) шарт қондирилмаса, (15) тенглама ечими ҳам мавжуд бўлмайди. Маълумки, бу ҳолатларда (17) муносабат (14) масала ечимини беради, (18) муносабатлар (14), (18) масалалар ечимини беради; (15) тенглама учун мос

равишда умумий ва нормал псевдоечим сифатида хизмат қилади. Улар Гаусс-Ньютон усулида одатда, куйидаги кўринишда ёзиладиган итерацион процедуранинг асосий босқичини аниқлайдилар:

$$\Delta\xi = -[J^T(\xi_c)J(\xi_c)]^{-1} J^T(\xi_c)F(\xi_c), \quad \xi_+ = \xi_c + \Delta\xi.$$

бунда $\alpha > 0$ – мунтазамлаштириш параметри.

Таклиф этилаётган алгоритмлар объектдаги шовқин ва ўлчаш ҳалакитлари билан чизиқли ностационар объектни адаптив баҳолашга имкон беради. Бобда, шунингдек, бошқариш объектларининг ҳолат векторини адаптив баҳолаш ва кириш сигналларининг номаълум жадаллигида объектдаги шовқин ва ўлчаш ҳалакитларини филтрлаш алгоритмлари ҳам муҳокама қилинган.

Диссертациянинг «**Ишлаб чиқилган синтезлаш алгоритмларини табиий газни абсорбцияли усулда тозалаш технологик жараёнида қўллаш**» деб номланган тўртинчи бобда ишлаб чиқилган адаптив субоптимал бошқариш тизимларини синтезлаш алгоритмларини табиий газни абсорбцияли тозалаш жараёнини автоматлаштириш ва бошқаришда қўллаш натижалари келтирилган.

Газ ишлаб чиқариш технологияси объектларининг математик моделлари мураккаблиги ҳисоблаш параметрларининг етарлича кўплиги ва хилма-хиллигидадир.

Абсорбция жараёнининг математик моделини куйидаги кўринишда ифодалаш мумкин:

$$\begin{bmatrix} y(t) \\ x(t) \end{bmatrix} = F(p)(I + \Delta_i) \begin{bmatrix} L(t) \\ G(t) \end{bmatrix} + K(p)f(t), \quad (20)$$

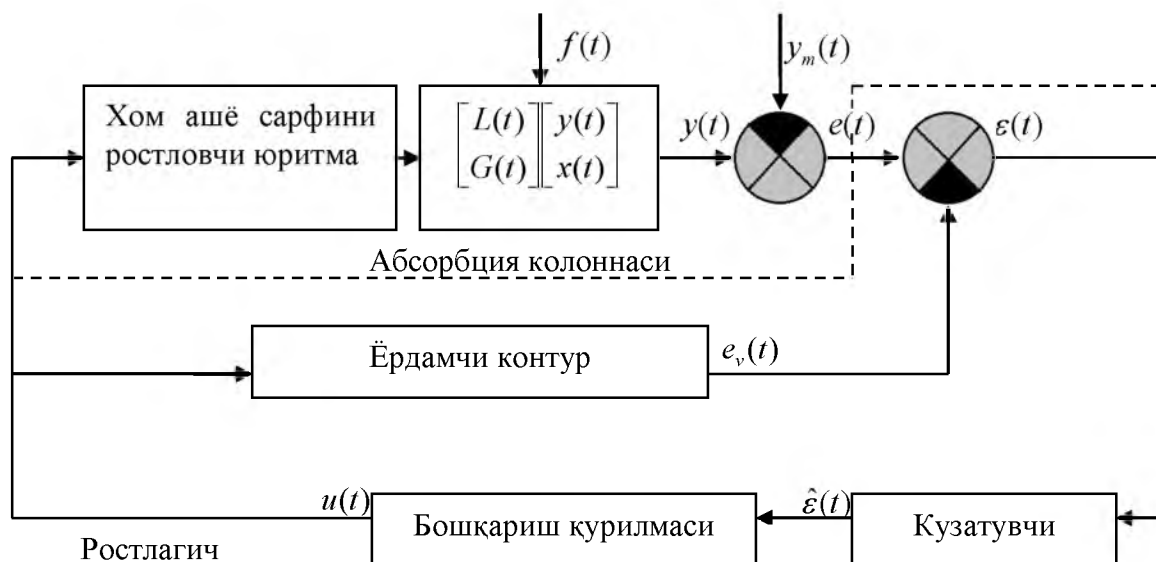
бунда $F(\lambda)$ – γ матрицали узатиш функцияси, $f(t)$ – галаён таъсирлар, $K(\lambda)$ – матрицали узатиш функцияси.

Адаптив субоптимал алгоритмик таъминотни синтезлаш куйидаги тахминлар асосида амалга оширилади:

1. Матрица Δ_i номаълум доимий коэффициентлари номаълум $\zeta \in \Xi$ параметрлар векторига боглиқ бўлади, бунда Ξ – маълум чекланган тўплам.

2. Чиқиш сигналлари $y(t)$ ва $x(t)$ ни ўлчаш мумкин, $L(t)$ ва $G(t)$ бошқарилувчи кириш сигналлари.

Абсорбция жараёнини бошқариш тизими учун адаптив субоптимал алгоритмик таъминлашни амалга оширишнинг умумий схемаси 1-расмда келтирилган.



1-расм. Абсорбция жараёнини адаптив субоптималь бошқариш тизими структура схемаси

Бошқариш мақсади $y_m(t) = [y^*; x^*]^T$ эталон сигнали сабаб чиқиш $y(t) = [y; x]^T$ билан кузатилиш хатолиги $e(t) = y(t) - y_m(t)$ ни узатиш функцияси $F_1(p)$ нинг меъёри ҳисобланган H_∞ ни минималлаштиришдан иборат:

$$\|F_1(j\omega)\|_\infty < \delta.$$

Актив эксперимент усули асосида объект киришига погонали таъсирларни бериш натижасида абсорбция жараёнининг математик модели (20) қуйидаги кўринишни олади:

$$F(p) = \frac{1}{14p+1} \begin{bmatrix} 0.723 & -0.791 \\ 1.026 & -1.012 \end{bmatrix} \quad \text{— номинал ўтиш функцияси}$$

$\gamma = 1$; $\Delta_i = \begin{bmatrix} \Delta_1 & 0 \\ 0 & \Delta_2 \end{bmatrix}$; $K(p) = \begin{bmatrix} k_1(p) \\ k_2(p) \end{bmatrix}$ нисбий даражаси билан берилган. Ξ —

ноаниқлик синфи $0 \leq \Delta_i \leq 1$, $i = 1, 2$, $|f(t)| \leq 6$ тенгсизлик билан берилган.

Жараённинг керакли сифати $y_m(t) = [y^*; x^*]^T$ эталон сигнал билан берилган.

Кузатишдаги хатоликлар $e(t) = y(t) - y_m(t)$ узатиш функциясини меъёри бўлган H_∞ минималлаштириш масаласи бажарилади.

Ёрдамчи контур тенгламаси қуйидаги кўринишни олади:

$$e_v(t) = \frac{1}{14p+1} \begin{bmatrix} 0.723 & -0.791 \\ 1.026 & -1.012 \end{bmatrix} u(t).$$

Бошқариш қонуни қуйидаги кўринишда аниқланади:

$$u(t) = -(14p+1) \begin{bmatrix} -12.667 & 9.901 \\ -12.843 & 9.05 \end{bmatrix} \hat{\xi}(t).$$

$\varepsilon(t)$ хосила сигналларини баҳолаш учун $F_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$; $Q^T = [-2, -1]$, $\mu = 0.01$

шарт бажариладиган кузатувчидан фойдаланамиз:

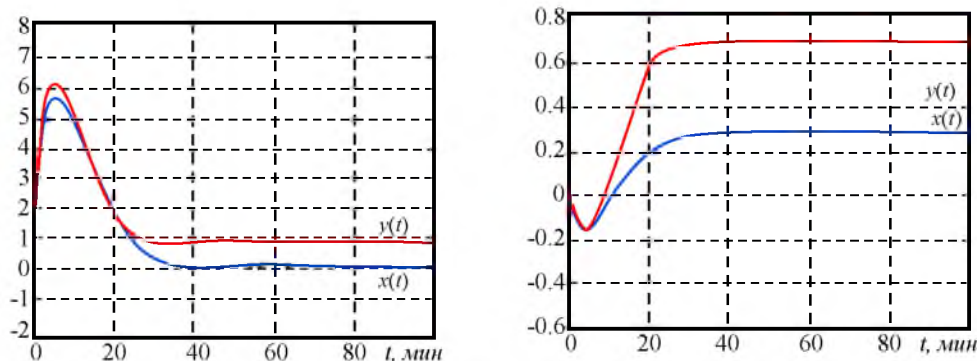
$$\begin{cases} \dot{\hat{\xi}}_1(t) = \hat{\xi}_2(t) + 2\mu^{-1}(\varepsilon(t) - \hat{\varepsilon}(t)), \\ \dot{\hat{\xi}}_2(t) = \mu^{-2}(\varepsilon(t) - \hat{\varepsilon}(t)), \quad \hat{\varepsilon}(t) = L\hat{\xi}(t). \end{cases}$$

Ростлагичдан абсорбер курилмасига бериладиган сигнални ифодалаш учун узатиш функцияси қуйидаги кўринишда бўлсин: $W(p) = \frac{1}{0.15p+1}$.

Бошқариш тизимини моделлаштириш MatLab Simulink дастурлаш муҳитида амалган оширилади. 2-расмда абсорбция курилмалари учун ($f(t) = 0.5 + 0.2 \sin 0.5t$) узлуксиз ҳаракатдаги $y(t)$, $x(t)$ бўйича олинган ўтиш жараёнлари графиклари келтирилган бўлиб (20) модель параметрларнинг қуйидаги қийматлари қўлланилади:

$$\Delta_1 = 0.2, \Delta_2 = 0.2, k_1(p) = \frac{1}{11p+1}, k_2(p) = \frac{2}{9p+1}.$$

Тозаланмаган газ $Q=1$ тезлик билан $z_f = 0.5$ концентрацияда берилган бўлсин деб тахмин қиламиз. Абсорбция жараёнининг бориши қуйидаги $y_m(t) = [y^*; x^*]^T = [0.98; 0.02]^T$ ва $y_m(t) = [y^*; x^*]^T = [0.3; 0.7]^T$ эталон сигналларда кўриб чиқилади.

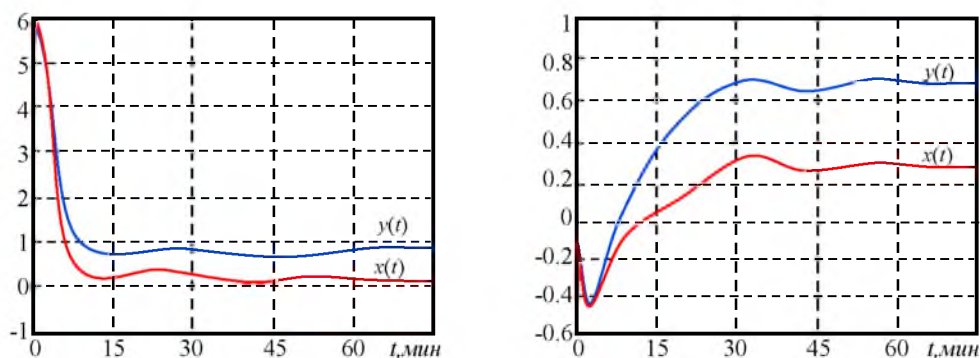


2-расм. $f(t) = 0$ бўлганда $C_1(p) = \frac{k_1(14p+1)}{p} \begin{bmatrix} -12.667 & 9.901 \\ -12.843 & 9.05 \end{bmatrix}$ инверсион

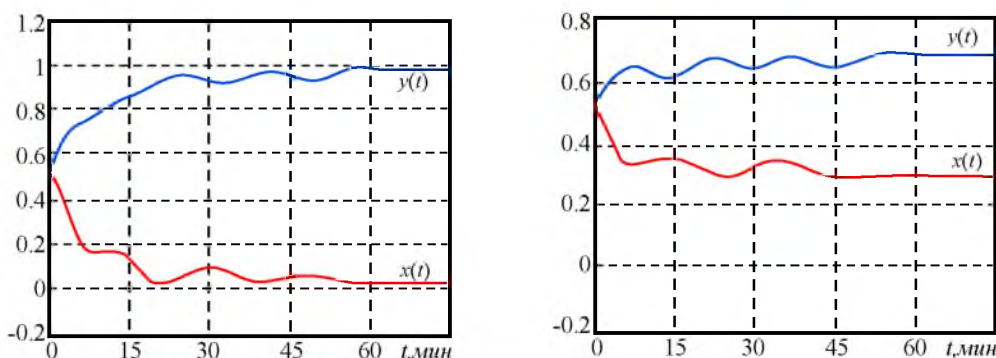
ростлагичдан фойдаланишда $y(t)$ ва $x(t)$ бўйича ўтиш жараёнлари

Рақамли моделлаштириш шуни кўрсатдики, таклиф этилаётган бошқариш схемаси (1-расм) объект моделининг параметрик ва функционал ноаниқликларини қоплайди ва ноаниқлик шароитида мақсадли шарт бажарилишини таъминлайди. Ўтиш жараёнларининг сифати ўтиш функциясини танлаш ва $\dot{\hat{\xi}}(t) = G_0\hat{\xi}(t) + F_0(\hat{\varepsilon}(t) - \varepsilon(t))$, $\hat{\varepsilon}(t) = L\hat{\xi}(t)$ кузатувчиданги μ катталиқни танлашга боғлиқ.

Агар бошқариш объекти киришига $f(t) = 0.5 + 0.2 \sin 0.5t$ ташқи чегараланган галаёнлар берилса, у ҳолда инверсион ва диагонал ростлагичлардан фойдаланиб, қуйидаги натижаларни олиш мумкин (3, 4-расмлар)



3-расм. $y_m(t) = [0.98; 0.02]^T$ ва $y_m(t) = [0.3; 0.7]^T$ учун $C_1(p)$ инверсион ростлагичдан фойдаланиш ва объект киришига $f(t)$ ташқи галаёнлар берилгандаги ўтиш жараёнлари



4-расм. $y_m(t) = [0.98; 0.02]^T$ ва $y_m(t) = [0.3; 0.7]^T$ учун $C_2(p)$ диагонал ростлагичдан фойдаланишда $f(t)$ ташқи галаёнлар мавжудлигидаги ўтиш жараёнлари

2, 3 ва 4-расмларда келтирилган графикларнинг қиёсий таҳлили куйидаги хулосаларни чиқаришга имкон беради: таклиф этилаётган бошқариш тизимининг афзаллиги шундаки, бунда ўтиш жараёнлари сифатининг яхшиланиши ҳам кузатилади.

ХУЛОСА

Диссертация ишида тизим таҳлил концепцияси, адаптив бошқариш тизимлари назарияси, динамик филтрлаш ва нокоррект масалаларни ҳал қилиш усуллари ёрдамида идентификацион ёндашув асосида бошқариш объектларининг ҳолатини адаптив баҳолаш конструктив алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Натижада куйидагиларга эришилди:

1. Операторли тенгламаларнинг тургун ечими учун икки босқичли мунтазам ҳисоблаш схемаси асосида чизикли динамик бошқариш объектларини идентификациялаш алгоритми таклиф қилинган. Бу алгоритм кўриб чиқилган ҳолатларда аниқлик тартиби бўйича оптималдир.

2. Псевдомурожаат ва сингуляр ёйиш концепцияларидан фойдаланиб бошқариш объектларини идентификациялашнинг тургун алгоритмлари ишлаб чиқилган. Таклиф этилаётган алгоритмлар изчил баҳолар олиш ва ёпик бошқариш тизимларида бошқариш жараёнлари сифатини яхшилаш имконини беради.
3. Ноортогонал факторлаштириш асосида идентификациялашнинг мунтазамлаштириш алгоритмлари ишлаб чиқилган. Ушбу алгоритмлар кўриб чиқилаётган динамик бошқариш объектлари синфи параметрларини ҳисоблашнинг аниқлигини оширишга ва реал технологик тизимларнинг чиқиш параметрларини башоратлашга ёрдам беради.
4. Мунтазамлаштириш усуллари асосида бошқариш объектлари параметрларини баҳолаш алгоритмлари ишлаб чиқилган. Таклиф қилинаётган алгоритмлар параметрларнинг мунтазам баҳоларини олиш ва динамик объектларни бошқариш тизими синтезлаш масалаларини ечишнинг аниқлигини оширишга имкон беради.
5. Фробениус бошқариладиган каноник шаклдаги ҳолат тенгламалари ёрдамида узатиш функцияларини рақамли моделлаштиришда фойдаланиш учун ифодалар таклиф этилган.
6. Ростлагич соzламалари вектор ҳолатини ва бошқариш объектнинг ҳалакит берувчи параметрларини баҳолаш учун алгоритмлар ишлаб чиқилган. Олинган алгоритмлар Калман типидagi адаптив филтёрларнинг икки сатҳли тизими асосида баҳолашни амалга оширади.
7. Ночизикли функционал тенгламаларни ечиш усулларига асосланган ковариацион матрицаларни идентификациялашнинг тургун баҳолаш алгоритмлари ишлаб чиқилган. Келтирилган алгоритмлар изланаётган ечимнинг мослигини таъминлашга имкон беради ва шу билан биргаликда адаптив баҳолаш амали аниқлигини оширади.
8. Объект шовқини ва ўлчаш ҳалакитларининг номаълум жадаллигида адаптив баҳолаш алгоритмлари таклиф қилинган. Олинган алгоритмлар рекуррент алгоритмлардаги жараён параметрларини соzлашга боглиқ «секин» ва объектнинг динамикасига боглиқ «тез» га ажратиш асосида адаптив баҳолаш имконини беради.
9. Калман типидagi динамик филтёрга асосланган объектдаги шовқин ва ўлчаш ҳалакитлари ковариацион матрицаларини соzлаш билан адаптив баҳолаш тургун алгоритмлари ишлаб чиқилган. Таклиф қилинаётган алгоритм ушбу сигналларнинг вектор қийматларини танлашга асосланган бўлиб, объектнинг кузатилган чиқишига мос келади, бунда охирги ўлчаш башорат хатолиги дисперсиясини минималлаштирилади.
10. Ишлаб чиқилган алгоритмлар асосида, табиий газни абсорбцияли усулда тоzлаш жараёнини адаптив субоптималь бошқариш тизими таклиф этилган. Таклиф этилаётган бошқариш тизими жараённинг технологик режимларини барқарорлаштириш ва ишлаш самарадорлигини оширишга имкон беради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ШУКУРОВА ОЙСАРА ПУЛАТОВНА

**АЛГОРИТМЫ АДАПТИВНОГО ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ
ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИОННОГО
ПОДХОДА**

**05.01.08 - Автоматизация и управление технологическими процессами
и производствами (технические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2020

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2017.3.PhD/T402.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: Зарипов Орипжон Олимович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Исмаилов Мирхалил Агзамович
доктор технических наук, профессор

Ботиров Тулкин Вафокулович
кандидат технических наук, доцент

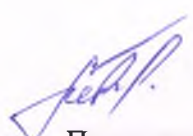
Ведущая организация: Бухарский инженерно-технологический институт

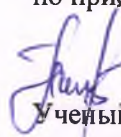
Защита диссертации состоится «15» 10 2020 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

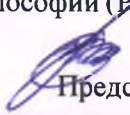
С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано №162). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41).

Автореферат диссертации разослан «8» 10 2020 года.
(реестр протокола рассылки №21 от «19» 09 2020 года)




Н.Р.Юсупбеков
Председатель научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик


У.Ф.Мамиров
Ученый секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор философии (PhD) по техническим наукам


Х.З.Игамбердиев
Председатель Научного семинара
при Научном совете по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется вопросам автоматизации и управления технологическими процессами и производствами различного функционального назначения. В этой области разработка устойчивых алгоритмов адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода является одной из важных задач. Поэтому разработка разнообразных методов и алгоритмов адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода является весьма актуальной задачей. В зарубежных странах большое внимание уделяется решению теоретических задач идентификации, динамического оценивания, адаптивного управления технологическими процессами и их практическому применению в различных отраслях промышленности.

В мире последнее время наиболее востребованными задачами в данной области являются разработка и практическая реализация адаптивных систем управления технологическими объектами, позволяющих улучшить качество выпускаемой продукции с наименьшими энергетическими затратами. Ведутся научно-исследовательские работы по созданию универсального подхода к оцениванию состояния объектов управления, ориентированных на решение задач адаптивного управления динамическими объектами. В связи с этим злободневной задачей является усовершенствование и модификация методов и алгоритмов адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе методов идентификации в условиях различного рода возмущений и помех.

В настоящее время в Республике уделяется большое внимание направлениям автоматизации и управления, в том числе созданию систем усовершенствованного управления, обеспечивающих энерго- и ресурсосбережение при автоматизации и управлении различными технологическими процессами и производствами. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы обозначены задачи «...сокращения энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкого внедрения в производство энергосберегающих технологий, повышения производительности труда в отраслях экономики»¹. Для реализации подобных задач важным является создание систем адаптивного управления, что обуславливает необходимость разработки эффективных алгоритмов адаптивного оценивания состояния управляемых технологических объектов.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» и Постановлениями

¹ Указ Президента Республики Узбекистан «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» УП-4947 от 7 февраля 2017 года.

№ ПП-2772 от 13 февраля 2017 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию управления, ускоренному развитию и диверсификации электротехнической промышленности на 2017-2021 гг.» и № ПП–3673 от 18 апреля 2018 года «Об организационных мерах по ускоренной интеграции ведомственных информационных систем и реализации инновационных проектов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Научные разработки, посвященные созданию методов и алгоритмов идентификации, оценивания и адаптивного управления динамическими объектами интенсивно ведутся в научных центрах и университетах ведущих стран мира. Опубликовано большое количество работ, посвященных проблемам синтеза адаптивных систем управления на основе концепций идентификации, разработаны общетеоретические концепции, возрастает число решенных практических задач.

Значительный вклад в развитие адаптивных методов внесли многие иностранные ученые, такие как S.Kaczmarz, Л.Льюнг, Ю.Е.Воскобойников, М.Ю.Медведев, А.Е.Кульченко, В.А.Шевченко, М.В.Жиров, А.Л.Бунич, О.З.Хасанов, С.А.Агвами, А.А.Бобцов, Н.Н.Карабуттов, И.Б.Фуртат, В.Н.Овчаренко, В.А.Морозов, А.Н.Тихонов, А.Б.Бакушинский, А.Е.Барабанов, и др., а также отечественные ученые Ш.М.Гулямов, О.О.Зарипов, Х.З.Игамбердиев, М.А.Исмаилов, А.А.Кадиров, Н.З.Камалов, М.М.Камилов, Ж.У.Севинов, А.Н.Юсупбеков и др.

Однако постоянное усложнение и расширение круга научных исследований требует развития устойчивых алгоритмов идентификации на основе концепций псевдообращения и сингулярного разложения. Кроме того, оказывается целесообразным осуществлять разработку алгоритмов оценивания статистических характеристик возмущений при неизвестной интенсивности возмущений, а также алгоритмов с подстройкой матриц ковариаций шумов в объекте и помех измерений. В связи с вышеотмеченным возникает настоятельная необходимость дальнейшей модификации и создания эффективных алгоритмов адаптивного оценивания на основе методов идентификации.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских проектов Ташкентского государственного технического университета: А-5-42 – «Программно-инструментальные средства интеллектуализации автоматизированного мониторинга и управления технологическими объектами в условиях априорной неопределенности» (2015-2017); ОТ-Ф4-78 – «Разработка теоретических

основ и регулярных методов синтеза адаптивных систем управления динамическими объектами на основе идентификационного подхода» (2017-2020).

Целью исследования является разработка алгоритмов адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода и вычислительных схем их практической реализации.

Задачи исследования:

системный анализ развития методов и алгоритмов адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода;

разработка устойчивых алгоритмов идентификации линейных динамических объектов управления;

разработка итерационных алгоритмов идентификации объектов управления большой размерности;

разработка алгоритмов идентификации линейных динамических объектов управления на основе неортогональных факторизации;

разработка алгоритмов адаптивного оценивания вектора состояния объектов управления;

разработка алгоритмов оценивания статистических характеристик возмущений в динамических объектах управления;

разработка алгоритмов адаптивного оценивания с подстройкой матриц ковариаций шумов в объекте и помех измерений;

практическая апробация разработанных алгоритмов и вычислительных схем адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода при решении задачи синтеза адаптивной системы управления конкретным технологическим объектом.

Объектом исследования являются алгоритмы оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы адаптивного устойчивого оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы системного анализа, идентификации, оценивания, адаптивного управления и решения некорректно поставленных задач.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан регулярный алгоритм идентификации линейных динамических объектов управления на основе двухэтапной вычислительной схемы решения операторных уравнений;

разработаны устойчивые алгоритмы идентификации объектов управления с использованием концепций псевдообращения и сингулярного разложения;

разработаны устойчивые алгоритмы идентификации ковариационных матриц на основе методов решения нелинейных функциональных уравнений;

разработаны устойчивые алгоритмы адаптивного оценивания с подстройкой матриц ковариаций шумов в объекте и помех измерений на основе динамического фильтра калмановского типа.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основе результатов промышленного эксперимента в условиях нормального функционирования разработаны математические модели процесса очистки природного газа абсорбционным методом;

разработаны структурные и функциональные схемы автоматизации и адаптивного управления технологическим процессом очистки природного газа абсорбционным методом;

предложена система управления технологическим процессом абсорбционной очистки природного газа с соответствующим техническим обеспечением, позволяющая стабилизировать технологические режимы протекания процессов и повысить их эффективность.

Достоверность результатов исследования. Достоверность полученных результатов исследования обеспечивается выполнением методически обоснованных теоретических выкладок; использованием апробированных методов и алгоритмов современной теории автоматического управления; применением теоретически обоснованных концепций адаптивного оценивания состояния; требуемой степенью сходимости предлагаемых методов и алгоритмов адаптивного управления; полученными результатами теоретических и прикладных исследований и их взаимной согласованностью.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования состоит в разработке конструктивных алгоритмов адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода, позволяющих синтезировать более совершенные системы управления с высоким уровнем возможностей по принятию решений.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке математического и алгоритмического обеспечения задач адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода. Разработанные алгоритмы могут найти широкое применение при построении функциональной структуры и автоматизации проектирования адаптивных систем управления технологическими процессами с непрерывным характером производства.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода внедрены:

разработанные регулярные алгоритмы идентификации линейных динамических объектов управления на основе двухэтапной вычислительной схемы решения операторных уравнений внедрены на «Мубарекский ГПЗ» (Справка АО «O'zbekneftgaz» №08-34-2-52 от 2 марта 2020 года). В результате повышается точность вычисления параметров регуляторов;

разработанные устойчивые алгоритмы идентификации объектов управления с использованием концепций псевдообращения и сингулярного

разложения внедрены на «Мубарекский ГПЗ» (Справка АО «O‘zbekneftgaz» №08-34-2-52 от 2 марта 2020 года). Алгоритмы позволяют стабилизировать технологические режимы протекания процесса очистки природного газа абсорбционным методом.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 4 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, из них 9 – в журнальных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 3 в иностранных журналах, 9 тезисов на международных и республиканских конференциях. Получена 1 свидетельство программного продукта.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 114 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты научная и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрений в практику результатов исследования, список апробаций результатов работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Задачи и алгоритмы адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода»** приведены методы и алгоритмы синтеза адаптивных систем управления, адаптивного оценивания, постановка цели и задачи исследования.

При функционировании объектов управления возмущающие воздействия обычно изменяются в определенных пределах. В таких случаях либо оценивают характеристики возмущающих воздействий, либо параметры фильтра непосредственно подстраиваются. Здесь более выгодным оказывается идентификационный подход, основанный на непосредственной оценке характеристик возмущений. Здесь возникают вычислительные трудности, связанные с плохой обусловленностью решаемых задач. Таким образом, возникает необходимость использования методов регуляризации. Вышеизложенные выводы обусловили постановку цели настоящей диссертационной работы, посвященной разработке алгоритмов адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода и методов регуляризации, и их практическом применении при

решении задач автоматизации и управления конкретными технологическими процессами производства.

Вторая глава диссертации «Разработка алгоритмов устойчивой идентификации динамических объектов управления» посвящена разработке алгоритмов устойчивой идентификации линейных динамических объектов управления, итерационных алгоритмов идентификации объектов управления большой размерности, идентификации линейных динамических объектов управления на основе концепции псевдообращения, оценивания параметров объектов управления на основе регулярных методов, цифрового моделирования передаточных функций с помощью уравнений состояния в управляемой канонической форме.

Модели применяются для прогноза выхода объекта на некоторое время вперед, или для расчета контура управления. В первом случае от модели требуется небольшая ошибка прогноза, во втором – хорошие оценки параметров управляемого объекта. Второе требование гораздо жестче. Получить хороший прогноз намного легче, чем точные оценки параметров. Основная причина такого положения – критерии идентификации. Широко используемый на практике среднеквадратический критерий полностью адекватен задаче минимизации ошибки прогноза. При этом оценки параметров могут быть плохими. Для решения задачи получения точных оценок при среднеквадратическом критерии идентификации необходимо ввести дополнительные требования к уровню используемой априорной информации.

Рассмотрим модель одномерной линейной динамической системы в виде разностного уравнения:

$$a_0 y(i) + a_1 y(i-1) + \dots + a_n y(i-n) = b_0 u(i) + b_1 u(i-1) + \dots + b_m u(i-m), \quad (1)$$

где $a_0, \dots, a_n, b_0, \dots, b_m$ – коэффициенты модели; $y(i)$ и $u(i)$ – значения соответственно выхода и входа системы в момент времени i ; n и m – порядки модели ($n \geq m$).

Запишем модель (1) для $N-n$ последовательных значений выхода системы с учетом внешнего шума:

$$y = F\theta + \varepsilon, \quad (2)$$

где $y^T = (y(n+1), y(n+2), \dots, y(N))$ – вектор значений выходной переменной системы; $\theta^T = (b_0, b_1, \dots, b_m, \dots, -a_1, \dots, -a_n)$ – вектор параметров модели (1); $a_0 = 1$; $\varepsilon^T = (\varepsilon(n+1), \varepsilon(n+2), \dots, \varepsilon(N))$ – вектор невязок модели;

$$F = \begin{pmatrix} u(n+1) & \dots & u(n+1-m) & y(n) & \dots & y(1) \\ u(n+2) & \dots & u(n+2-m) & y(n+1) & \dots & y(2) \\ \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ u(N) & \dots & u(N-m) & y(N-1) & \dots & y(N-n) \end{pmatrix} \text{ – матрица наблюдения.}$$

Для устойчивого оценивания искомого вектора θ применим метод регуляризации. Будем полагать, что выполняются следующие условия аппроксимации исходных данных: $\|F - \bar{F}\| \leq h$, $\|y - \bar{y}\| \leq \delta$, где \bar{F} и \bar{y} – точные значения матричного оператора и правой части уравнения (2).

Пусть θ_α – решение регуляризованной задачи с приближенными данными: $\inf_{\theta} \Phi_\alpha[\theta] = \Phi_\alpha[\theta_\alpha]$, $\Phi_\alpha[\theta] = \|F\theta - y\|^2 + \alpha\|\theta\|^2$.

Рассмотрим необходимое для дальнейшего операторное тождество:

$$(\bar{F}^T \bar{F} + \alpha I)^{-1} \bar{F}^T = \bar{F}^T (\bar{F} \bar{F}^T + \alpha I)^{-1},$$

проверяемое путем умножения этого соотношения на $\bar{F}^T \bar{F} + \alpha I$ слева и на $\bar{F} \bar{F}^T + \alpha I$ справа.

Так как по условию: $\bar{y} = \bar{F} \bar{\theta}_y$, то $\bar{\theta}_\alpha - \bar{\theta}_y = -\alpha (\bar{F}^T \bar{F} + \alpha I)^{-1} \bar{\theta}_y$, где θ_y – псевдорешение уравнения (2).

При указанных условиях существует такая постоянная $K < +\infty$, не зависящая от h и δ , что имеет место неравенство

$$\inf_{\alpha} \|\theta_\alpha - \bar{\theta}_y\|_H \leq K(\delta + h), \quad \bar{\theta}_y = \bar{\theta}_{y_0}. \quad (3)$$

Тогда для отыскания регуляризованного решения уравнения (2) можно воспользоваться следующей двухэтапной регулярной схемой:

$$g_\alpha = (F F^T + \alpha I)^{-1} F F^T y, \quad (4)$$

$$q_\alpha^* = (F^T F + \alpha I)^{-1} F^T g_\alpha. \quad (5)$$

При использовании вычислительной схемы (4), (5) необходимо принять $\alpha = h$. Здесь следует отметить то важное обстоятельство, что характер оценки (3) такой же, как и для корректно поставленных задач. Это говорит о том, что метод регуляризации в рассматриваемых условиях оптимален по порядку точности.

При решении многих прикладных задач идентификации динамических объектов управления приходится рассматривать приближенную систему линейных алгебраических уравнений большой размерности вида:

$$Au = f, \quad (6)$$

где $A = (a_{ij}) \in R^{m \times n}$, $f = (f_1, \dots, f_m)^T \in R^m$, $u = (u_1, \dots, u_n)^T \in R^n$.

Условия аппроксимации уравнения (6) примем в виде:

$$\|A - \bar{A}\| \leq h, \quad \|f - \bar{f}\| \leq \delta,$$

где \bar{A} и \bar{f} – точные значения матричного оператора и правой части уравнения (6) соответственно.

Нормальное псевдорешение $u_* = A^+ f$ является нормальным решением нормальной системы уравнений:

$$A^T Au = A^T f, \quad (7)$$

или $A^T r = 0$, где $r = f - Au$.

При решении уравнения (7) обычно используется метод регуляризации А.Н.Тихонова:

$$(A^T A + \alpha I)u = A^T f. \quad (8)$$

Регуляризованную нормальную систему уравнений (8) можно записать в виде:

$$\left(\begin{array}{c|c} \omega I_m & A \\ \hline A^T & -\omega I_n \end{array} \right) \begin{pmatrix} y \\ u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f \\ 0 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \tilde{A}_\omega z = \tilde{f}, \quad (9)$$

где $\omega = \sqrt{\alpha}$.

Матрица \tilde{A}_ω системы (9) при всех $\alpha > 0$ невырождена и её единственным решением является вектор $z_* = (y_*^T, u_*^T)^T$, где $u_* = (A^T A + \alpha I_n)^{-1} A^T f$, $y_* = \omega^{-1} r_*$, $r_* = f - Au_*$.

Запишем расширенную систему (9) в виде системы двух уравнений:

$$\begin{aligned} (\omega I_m : A)z &= f, \\ (A^T : -\omega I_n)z &= 0. \end{aligned} \quad (10)$$

При вычислении величины z согласно уравнения $z = (\omega I_m : A)^+ f$ (10) псевдообратную матрицу $(\omega I_m : A)^+$ представим следующим образом:

$$(\omega I_m : A)^+ = (\omega I_m : A)^Y \left[(\omega I_m : A)(\omega I_m : A)^Y \right]^{\dagger}.$$

Для краткости, учитывая определение $(\omega I_m : A)$, обозначим:

$$F = \left[(\omega I_m : A)(\omega I_m : A)^T \right],$$

где F – симметрическая, неотрицательно определенная матрица размерности $(m+n) \times (m+n)$.

Представим симметрическую матрицу в диагональном виде:

$$F = TUT^T,$$

где $T = (t_1 \mid t_2 \mid \dots \mid t_{m+n})$ – блочная ортогональная, а U – диагональная матрица.

Тогда можно записать:

$$F^+ = \sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^{-1} t_i t_i^T,$$

где $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_{m+n} > 0$ – собственные числа матрицы F .

Таким образом:

$$(\omega I_m : A)^+ = (\omega I_m : A)^T F^+, \quad z = (\omega I_m : A)^T F^+ f.$$

Метод эффективного псевдообращения основан на сингулярном разложении матрицы $H = (\omega I_m : A)$, т.е. на ее представлении в виде

$$H = USV^T,$$

где U – ортогональная $(N \times 2p)$ – матрица; V^T – ортогональная $(N \times 2p)$ – матрица; S – диагональная $(2p \times 2p)$ – матрица.

Столбцы u_i и v_i матриц U и V суть собственные векторы матрицы $H^T H$, а диагональные элементы μ_i матрицы S – положительные корни из собственных значений λ_i матрицы $H^T H$.

Псевдообратная матрица H^+ по Муру-Пенроузу позволяет получить оценку:

$$H^+ = VS^+U^T = \sum_{i=1}^r \frac{1}{\mu_i} v_i u_i^T,$$

где $S^+ = \text{diag}(s_1^+, \dots, s_r^+)$ – псевдообратная матрица для матрицы S ; r – ранг матрицы H , т.е. число отличных от нуля сингулярных чисел $\mu_i (i = \overline{1, p})$; $s_i^+ = 1/\mu_i$, если $\mu_i \neq 0$, и $s_i^+ = 0$, если $\mu_i = 0$.

Приведенные алгоритмы позволяют эффективно решать некорректные задачи идентификации большой размерности и повысить качество процессов управления в замкнутых системах управления.

В главе также рассмотрены алгоритмы оценивания параметров объектов управления на основе регулярных методов, цифрового моделирования передаточных функций с помощью уравнений состояния в управляемой канонической форме.

Третья глава диссертации «Разработка алгоритмов адаптивного оценивания состояния объектов управления» посвящена разработке алгоритмов адаптивного оценивания вектора состояния и оценивания статистических характеристик возмущений.

Будем рассматривать случай, когда все матрицы системы в фильтре Калмана, за исключением, возможно, матриц ковариаций Q и R , заданы точно. Для этого случая известно, что условия $E(v_i v_i^T) - HP_{i|i-1} H^T - R = 0$ и $E(v_i v_j^T) = 0, i \neq j$, выполняются тогда и только тогда, когда $Q = \hat{Q}$ и $R = \hat{R}$.

Таким образом, необходимые и достаточные условия, при которых последовательность обновлений дает необходимую информацию для идентификации матриц Q и R , будут иметь вид:

$$\begin{aligned} E(v_i v_i^T) - HP_{i|i-1} H^T - R &= 0, \\ E(v_i v_{i-1}^T) &= HA(I - K_{i-1}H)[P_{i-1|i-2} H^T - K_{i-1}R] = 0, \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \quad (11)$$

$$E(v_i v_{i-m}^T) = HA(I - K_{i-1}H)A \dots A(I - K_{i-m})[P_{i-m|i-m-1} H^T - K_{i-m}R] = 0.$$

где $E(v_i v_i^T)$ и $E(v_i v_{i-k}^T)$ – ковариационные матрицы обновляющей последовательности v_i .

Перепишем систему уравнений (11) в виде:

$$S(c) = 0, \quad (12)$$

где $S(c)$ – нелинейный оператор; c – вектор, составленный из диагональных элементов ковариационных матриц Q и R .

Решение системы уравнений (12) по формулам метода Ньютона:

$$c_{k+1} = c_k - S'(c_k)^{-1} S(c_k),$$

возможно лишь в том случае, когда $m=n$ и матрица $S'(c)$ практически не вырождена в той области, в которой ищется решение системы (12).

Если $\text{rang} S'(c^*) = r < n$, то: $S'(c)^+ = [S'(c^*)^T S'(c^*)]^{-1} S'(c^*)^T$ и итерации выполняются по формулам:

$$c_{k+1} = c_k - \gamma_k [S'(c_k^*)^T S'(c_k^*)]^{-1} S'(c_k^*)^T S(c_k), \quad (13)$$

где параметры γ_k подбираются специальным образом.

Алгоритм (13) в случае, когда $S'(c^*)^T S'(c^*)$ необратим, непосредственно использовать нельзя. Применение (13) в малой окрестности точки c^* может оказаться невозможным. Мало того, если при всех $c \neq c^*$ из этой окрестности $\text{rang} S'(c) \neq r$, то вычисление $S'(c)^+$, а значит, применение (13) также может оказаться практически невозможным. В этом случае матрицу $S'(c)$ приходится заменять на близкую к ней матрицу $Q(c)$ ранга r такую, для которой возможно вычисление $Q(c)^+$. Естественно выбирать матрицу $Q(c)$

так, чтобы выполнялось не только соотношение $\lim Q(c) = S'(c^*)$ при $c \rightarrow c^*$, но и соотношение $\lim Q(c)^+ = S'(c^*)^+$.

Пусть $D(c_k)$ – матрица, составленная из r практически линейно-независимых столбцов матрицы $S'(c_k)$, а $C(c_k)$ – матрица, вычисленная из матричного уравнения:

$$M(c_k)C(c_k) = N(c_k),$$

где $N(c_k)$ – матрица, составленная из некоторых r практически линейно-независимых строк матрицы $S'(c_k)$, а матрица $M(c_k)$ составлена из элементов, лежащих на пересечении матриц $D(c_k)$ и $N(c_k)$. Тогда положим:

$$Q(c_k) = D(c_k)C(c_k).$$

Таким образом, будем считать, что в формулах (13) вместо $S'(c_k)^+$ берется матрица:

$$Q(c_k)^+ = C(c_k)^+ D(c_k)^+ = C(c_k)^T (C(c_k)C(c_k)^T)^{-1} (D(c_k)^T D(c_k)) D(c_k)^T,$$

так что вычисления выполняются по формулам:

$$c_{k+1} = c_k - Q(c_k)^+ S(c_k).$$

Таким образом, приведенные алгоритмы регулярного оценивания ковариационных матриц шума объекта и помехи измерений на основе концепции методов решения нелинейных функциональных уравнений, позволяют обеспечить сходимость искомого решения и тем самым повысить точность процедуры адаптивного оценивания.

Рассмотрим алгоритмы адаптивного оценивания с подстройкой матриц ковариаций шумов в объекте и помех измерений.

Пусть объект наблюдения описывается линейной моделью:

$$\begin{aligned} x_t &= A_{t-1}x_{t-1} + B_t w_t, \\ y_t &= C_t x_t + v_t, \quad 1 \leq t \leq T, \end{aligned}$$

в которой x_t – вектор состояния размерности n , y_t – вектор измерений размерности m , w_t – шум объекта размерности l , v_t – помеха измерений. Матрицы A_t, B_t, C_t соответствующих размерностей известны.

Для выбора одного набора и, следовательно, одной модели введем показатель качества. Пусть в произвольной модели $R_T(\xi)$ – матрица ковариаций ошибки прогноза последнего измерения $\varepsilon_T = y_T - C_T \hat{x}_{T|T-1}$. Тогда показатель качества этой модели можно определить в виде:

$$F(\xi) = \text{tr}(R_T(\xi)S),$$

где S – некоторая неотрицательно определенная матрица с коэффициентами, отражающими веса разных компонент вектора ε_T .

Функцию F можно минимизировать различными методами, для чего потребуется рассчитать его частные производные по всем элементам ξ . Будем использовать итерационный алгоритм Гаусса-Ньютона как один из эффективных методов минимизации функции многих переменных.

Метод Гаусса – Ньютона, позволяющий по текущей точке ξ_c найти следующую точку ξ_+ , основан на аппроксимации функции $F(\xi)$ в окрестности текущей точки ξ_c ее линейной моделью:

$$M_c(\xi) = F(\xi_c) + J(\xi_c)(\xi - \xi_c) = F(\xi_c) + J(\xi_c)\Delta\xi,$$

соответствующей замене нелинейной задачи о наименьших квадратах на линейную задачу вида:

$$\|M_c(\xi)\|^2 / 2 = \|F(\xi_c) + J(\xi_c)\Delta\xi\|^2 / 2 = \varepsilon_c / 2, \quad (14)$$

где $\varepsilon_c = \|F(\xi_c) + J(\xi_c)\Delta\xi\|^2$ – невязка уравнения:

$$J(\xi_c)\Delta\xi = -F(\xi_c). \quad (15)$$

Чаще встречаются случаи, когда матрица $J(\xi_c) \in R^{m \times n}$ является матрицей общего вида, но оказывается выполненным условие совместности уравнения (15), имеющее вид:

$$J(\xi_c)J^+(\xi_c)F(\xi_c) = F(\xi_c), \quad (16)$$

где $J^+(\xi_c) \in R^{n \times m}$ – псевдообратная к матрице $J(\xi_c)$.

Тогда решение уравнения (115) будет иметь вид:

$$\Delta\xi = -J^+(\xi_c)F(\xi_c) + [I - J^+(\xi_c)J(\xi_c)]y, \quad \xi_+ = \xi_c + \Delta\xi. \quad (17)$$

Это решение единственно, если выполняется, наряду с (17), условие:

$$J^+(\xi_c)J(\xi_c) = I,$$

которое записывается в виде:

$$\Delta\xi = -J^+(\xi_c)F(\xi_c), \quad \xi_+ = \xi_c + \Delta\xi. \quad (18)$$

В других случаях выбор единственного решения из (17) подчиняется тем или иным дополнительным требованиям; таково, например, требование найти:

$$\min\|\Delta\xi\|, \quad \Delta\xi = -J^+(\xi_c)F(\xi_c) + [I - J^+(\xi_c)J(\xi_c)]y. \quad (19)$$

Наиболее реальны случаи, когда матрица $J(\xi_c)$ имеет общий вид и условие (16) не выполняется, так что решение уравнения (15) не существует. В этих случаях соотношение (17) дает решение задачи (14), а соотношение (18) – решение задачи (14), (19); для уравнения (15) они служат, соответственно, общим и нормальным псевдорешениями. Они же в методе Гаусса – Ньютона определяют основной шаг итерационной процедуры, записываемой обычно в виде:

$$\Delta\xi = -[J^T(\xi_c)J(\xi_c) + \alpha I]^{-1}J^T(\xi_c)F(\xi_c), \quad \xi_+ = \xi_c + \Delta\xi,$$

где $\alpha > 0$ – параметр регуляризации.

Параметр регуляризации α здесь целесообразно определять на основе способа модельных примеров.

Предложенные алгоритмы позволяют осуществлять адаптивное оценивание линейного объекта при неизвестных шумах в объекте и помех измерениях. В главе также рассмотрены алгоритмы адаптивного оценивания вектора состояния объектов управления и фильтрации при неизвестной интенсивности шумов объекта и помех измерениях.

В четвертой главе диссертации «**Применение разработанных алгоритмов синтеза в задаче управления технологическим процессом очистки природного газа абсорбционным методом**» приводятся результаты применения разработанных алгоритмов для синтеза адаптивной субоптимальной системы управления при автоматизации и управлении абсорбционной очистки природного газа.

Сложность математических моделей проявляется в значительном числе и многообразии газопромысловых параметров.

Структура математической модели процесса абсорбции получена в виде:

$$\begin{bmatrix} y(t) \\ x(t) \end{bmatrix} = F(p)(I + \Delta_i) \begin{bmatrix} L(t) \\ G(t) \end{bmatrix} + K(p)f(t), \quad (20)$$

где $F(\lambda)$ – номинальная передаточная матричная функция, $f(t)$ – возмущающее воздействие, $K(\lambda)$ – передаточная матричная функция.

Синтез адаптивного субоптимального управления осуществляется при следующих предположениях:

1. Неизвестные постоянные коэффициенты матрицы Δ_i зависят от некоторого вектора неизвестных параметров $\zeta \in \Xi$, где Ξ – известное ограниченное множество.

2. Измерению доступны выходные сигналы $y(t)$ и $x(t)$, и управляемые входные сигналы $L(t)$ и $G(t)$.

Общая схема реализации адаптивной субоптимальной системы управления процессом абсорбции представлена на рисунке 1.

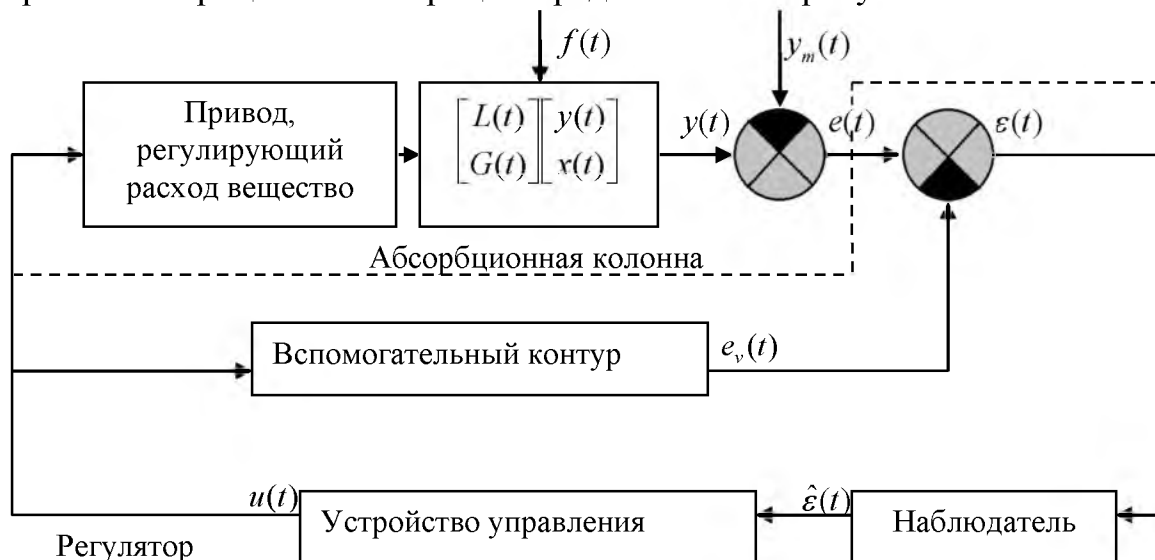


Рис. 1. Структурная схема адаптивной субоптимальной системы управления процессом абсорбции

Целью управления является минимизация H_∞ – нормы передаточной функции $F_1(p)$ ошибки слежения $e(t) = y(t) - y_m(t)$ выхода $y(t) = [y; x]^T$ за эталонным сигналом $y_m(t) = [y^*; x^*]^T$:

$$\|F_1(j\omega)\|_\infty < \delta.$$

Математическая модель процесса абсорбции (20), полученная на основе активного эксперимента путем подачи на вход объекта ступенчатых воздействий, получена в виде:

$F(p) = \frac{1}{14p+1} \begin{bmatrix} 0.723 & -0.791 \\ 1.026 & -1.012 \end{bmatrix}$ – номинальная передаточная функция с относительной степенью $\gamma = 1$; $\Delta_i = \begin{bmatrix} \Delta_1 & 0 \\ 0 & \Delta_2 \end{bmatrix}$; $K(p) = \begin{bmatrix} k_1(p) \\ k_2(p) \end{bmatrix}$. Класс неопределенности Ξ зададим неравенствами: $0 \leq \Delta_i \leq 1, i = 1, 2, |f(t)| \leq 6$.

Желаемое качество процесса задается эталонным сигналом $y_m(t) = [y^*; x^*]^T$.

Выполняется задача минимизации H_∞ – нормы передаточной функции ошибки слежения $e(t) = y(t) - y_m(t)$.

Уравнение вспомогательного контура примет вид:

$$e_v(t) = \frac{1}{14p+1} \begin{bmatrix} 0.723 & -0.791 \\ 1.026 & -1.012 \end{bmatrix} u(t).$$

Закон управления определится в виде:

$$u(t) = -(14p+1) \begin{bmatrix} -12.667 & 9.901 \\ -12.843 & 9.05 \end{bmatrix} \hat{\xi}(t).$$

Для оценки производных сигнала $\varepsilon(t)$ воспользуемся наблюдателем в котором $F_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$; $Q^T = [-2, -1]$, $\mu = 0.01$:

$$\begin{cases} \dot{\hat{\xi}}_1(t) = \hat{\xi}_2(t) + 2\mu^{-1}(\varepsilon(t) - \hat{\varepsilon}(t)), \\ \dot{\hat{\xi}}_2(t) = \mu^{-2}(\varepsilon(t) - \hat{\varepsilon}(t)), \quad \hat{\varepsilon}(t) = L\hat{\xi}(t). \end{cases}$$

Для преобразования сигнала, поступающего с регулятора на абсорбер, передаточная функция которого имеет вид:

$$W(p) = \frac{1}{0.15p+1}.$$

Моделирование системы управления проводилось в программной среде MatLab Simulink. На рисунке 2 приведены графики переходных процессов по $y(t)$, $x(t)$ для процесса абсорбции (при $f(t) = 0.5 + 0.2 \sin 0.5t$), для следующих значениях параметров в системе: $\Delta_1 = 0.2$, $\Delta_2 = 0.2$, $k_1(p) = \frac{1}{11p+1}$, $k_2(p) = \frac{2}{9p+1}$.

Предполагается, что неочищенный газ подается со скоростью $Q=1$ с концентрацией $z_f = 0.5$. Рассматривается поведение процесса абсорбции при следующих значениях эталонного сигнала с $y_m(t) = [y^*; x^*]^T = [0.98; 0.02]^T$ и $y_m(t) = [y^*; x^*]^T = [0.3; 0.7]^T$.

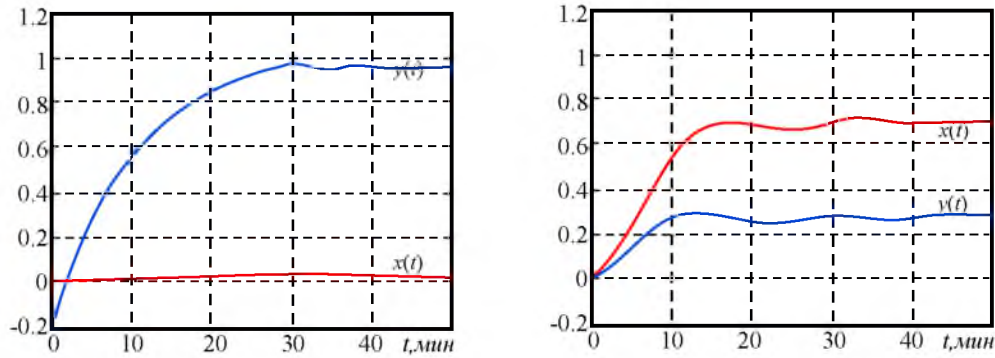


Рис. 2. Результаты моделирования для абсорбционных устройств при $y_m(t) = [0.98; 0.02]^T$ и $y_m(t) = [0.3; 0.7]^T$

Численное моделирование показало, что предложенная схема управления компенсирует параметрические и функциональные неопределенности модели объекта (20) и обеспечивает выполнение целевого условия в условиях неопределенности. Качество переходных процессов зависит от выбора передаточной функции и величины μ в наблюдателе $\dot{\hat{\xi}}(t) = G_0 \hat{\xi}(t) + F_0 (\hat{\varepsilon}(t) - \varepsilon(t))$, $\hat{\varepsilon}(t) = L \hat{\xi}(t)$.

Если на вход объекта управления подать внешнее ограниченное возмущение $f(t) = 0.5 + 0.2 \sin 0.5t$, то при использовании инверсного и диагонального регуляторов получаем следующие результаты (рис.3, 4):

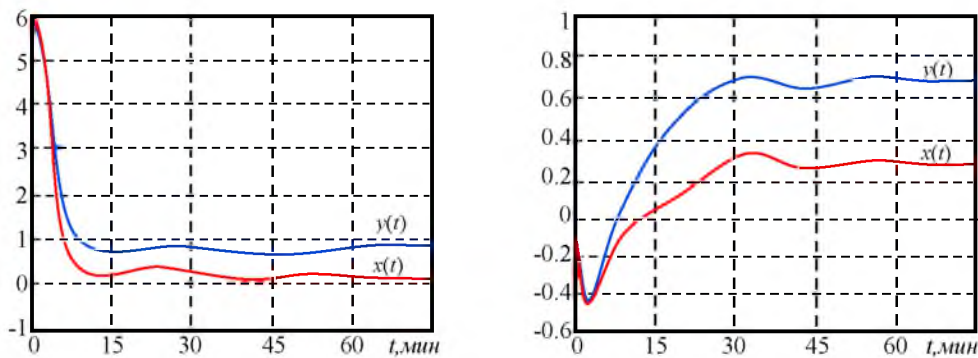


Рис. 3. Переходные процессы для $y_m(t) = [0.98; 0.02]^T$ и $y_m(t) = [0.3; 0.7]^T$ при использовании инверсного регулятора $C_1(p)$ и подаче на вход объекта внешнего возмущения $f(t)$

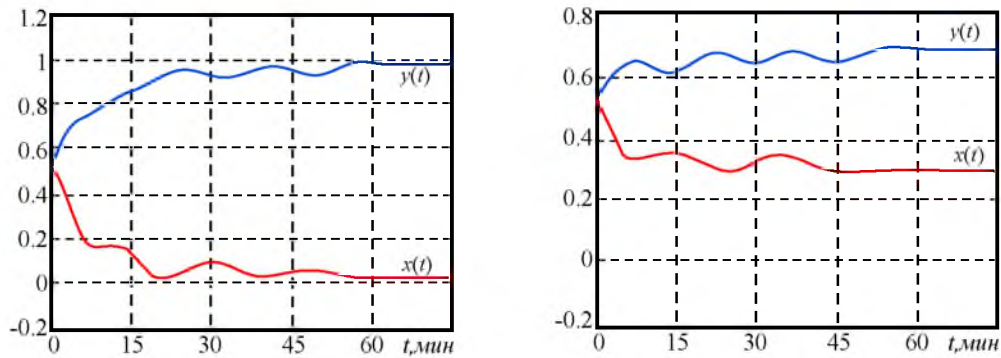


Рис. 4. Переходные процессы для $y_m(t) = [0.98; 0.02]^T$ и $y_m(t) = [0.3; 0.7]^T$ при использовании диагонального регулятора $C_2(p)$ и наличии внешних возмущений $f(t)$

На основе сравнительного анализа графиков, приведенных на рисунках 2, 3 и 4, можно заключить, что рассмотренный адаптивный субоптимальный алгоритм управления позволяет улучшить качественные показатели переходных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе концепций системного анализа, теории адаптивных систем управления, динамической фильтрации и методов решения некорректных задач разработаны конструктивные алгоритмы адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе идентификационного подхода.

В итоге получены следующие результаты:

1. Предложен алгоритм идентификации линейных динамических объектов управления на основе двухэтапной регулярной вычислительной схемы устойчивого решения операторных уравнений. Данный алгоритм в рассматриваемых условиях является оптимальным по порядку точности.
2. Разработаны устойчивые алгоритмы идентификации объектов управления с использованием концепций псевдообращения и сингулярного разложения. Предложенные алгоритмы позволяют получать состоятельные оценки и повысить качество процессов управления в замкнутых системах управления.
3. Разработаны регуляризованные алгоритмы идентификации на основе неортогональных факторизациях. Данные алгоритмы способствует повышению точности оценивания параметров рассматриваемого класса динамических объектов управления и прогнозирования выходных переменных реальной технологической системы.
4. Разработаны алгоритмы оценивания параметров объектов управления на основе метода регуляризации. Предложенные алгоритмы позволяют

- получать регуляризованные оценки параметров и повысить точность решения задачи синтеза системы управления динамическими объектами.
5. Предложены соотношения для использования их при цифровом моделировании передаточных функций с помощью уравнений состояния в управляемой канонической форме Фробениуса.
 6. Разработаны алгоритмы оценивания состояния вектора настроек регулятора и мешающих параметров объекта управления. Полученные алгоритмы позволяют производить оценивание на основе двухуровневой системы адаптивных фильтров калмановского типа.
 7. Разработаны устойчивые алгоритмы идентификации ковариационных матриц на основе методов решения нелинейных функциональных уравнений. Приведенные алгоритмы позволяют обеспечить сходимость искомого решения и тем самым повысить точность процедуры адаптивного оценивания.
 8. Разработаны алгоритмы адаптивного оценивания при неизвестной интенсивности шумов объекта и помех измерений. Приведенные алгоритмы позволяют производить адаптивное оценивание на основе разделения процессов в рекуррентном алгоритме на «медленные», связанные с процессом настройки параметров, и «быстрые», связанные с динамикой объекта.
 9. Разработаны устойчивые алгоритмы адаптивного оценивания с подстройкой матриц ковариаций шумов в объекте и помех измерений на основе динамического фильтра калмановского типа. Предложенные алгоритмы основаны на подборе векторов значений этих сигналов, согласованных с наблюдаемым выходом объекта, при которых минимизируется дисперсия ошибки прогноза последнего измерения.
 10. На основе разработанных алгоритмов предложена система адаптивного субоптимального управления процессом абсорбционной очистки природного газа. Предложенная система управления позволяет стабилизировать технологические режимы протекания процесса и повысить эффективность его функционирования.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.T.03.02 ON THE ADMISSION
OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE
TECHNICAL UNIVERSITY**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

SHUKUROVA OYSARA PULATOVNA

**ALGORITHMS FOR ADAPTIVE ASSESSMENT OF THE
STATE OF CONTROL OBJECTS BASED ON THE
IDENTIFICATION APPROACH**

05.01.08 - Automation and control of technological processes and manufactures
(technical sciences)

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2020

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.3.PhD/T402.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University.

The abstract of dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council (www.tdtu.uz) and Information and Educational Portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: **Zaripov Oripjon Olimovich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Ismailov Mirxalil Agzamovich**
doctor of technical sciences, professor

Botirov Tulkin Vafoqulovich
candidate of technical sciences, associative professor

Leading organization: **Bukhara engineering-technological institute**

Defense of dissertation will take place in «15» 10 2020 at 10⁰⁰ o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number 162). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-03-41.)

Abstract of dissertation sent out on «8» 10 2020 year.
(mailing report № 21, on «19» 09 2020 year).



N.R. Yusupbekov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor, academician

U.F. Mamirov
Scientific secretary of scientific council,
on awarding scientific degrees,
PhD in technical science

H.Z. Igamberdiyev
Chairman of the academic seminar under the
Scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor, academician

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work the goal is to develop algorithms for adaptive assessment of the state of control objects based on the identification approach and computational schemes for their practical implementation.

The object of the research there are algorithms for evaluating the state of control objects based on the identification approach.

Scientific novelty of the research work is as follows:

a regular algorithm for identifying linear dynamic control objects is developed based on a two-stage computational scheme for solving operator equations;

stable algorithms for identifying control objects are developed using the concepts of pseudo circulation and singular value decomposition;

algorithms for regular estimation of covariance matrices of object noise and measurement interference are developed based on methods for solving nonlinear functional equations, taking into account the possible unsolvability of a linearized system with itself or a poorly conditioned matrix;

stable adaptive estimation algorithms with adjustment of object noise covariance matrices and measurement interference based on a dynamic Kalman filter are developed.

Implementation of the research results. On the basis of the results of the adaptive assessment of the state of control objects based on the identification approach, the following were implemented:

developed regular algorithms for the identification of linear dynamic control objects based on a two-stage computational scheme for solving operator equations have been introduced at «Mubarek Gas Processing Plant» (Reference of JSC «Uzbekneftegaz» №08-34-2-52 of March 2, 2020). As a result, the accuracy of calculating the parameters of the regulators is increased;

developed stable algorithms for identifying control objects using the concepts of pseudo-inversion and singular decomposition have been introduced at «Mubarek Gas Processing Plant» (Reference of JSC «Uzbekneftegaz» №08-34-2-52 of March 2, 2020). The algorithms make it possible to stabilize the technological modes of the natural gas purification process by the absorption method.

The structure and volume of the dissertation. The thesis consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of references and applications. The dissertation volume is 114 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Шукурова О.П. Алгоритмы синтеза адаптивного субоптимального управления динамическими объектами на основе регулярных методов // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». –Ташкент, 2012. – №1(43). –С.83-85. (05.00.00; №12)

2. Шукурова О.П. Моделирование и оптимизация процесса осушки газа в многофункциональных абсорберов // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». –Ташкент, 2012. – №4(46). –С.86-88. (05.00.00; №12)

3. Шукурова О.П. Алгоритмы адаптивного оценивания состояния установок комплексной подготовки газа // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». – Ташкент, 2013. – №3(51). –С.86-89. (05.00.00; №12)

4. Зарипов О.О., Шукурова О.П. Алгоритмы оценивания статистических характеристик возмущений в динамических объектах управления // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». –Ташкент, 2017. – №6(78). –С.55-59. (05.00.00; №12)

5. Зарипов О.О., Шукурова О.П. Оценивание ковариационной матрицы возмущений на входе управляемого объекта на основе итеративных алгоритмов // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». –Ташкент, 2018. – №6(84). –С.46-49. (05.00.00; №12)

6. Zaripov O.O., Shukurova O.P., Sevinov J.U. Algorithms for Recurrent Identification of Control Objects by Means of Multiple Models and Adaptation of Parameters // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (website: www.ijarset.com, ISSN: 2350-0328, India), Vol. 6, Issue 3, March 2019. –PP.8479-8483. (05.00.00; №8)

7. Zaripov O.O., Shukurova O.P., Sevinov J.U. Algorithms for identification of linear dynamic control objects based on the pseudo-concept concept // International Journal of Psychosocial Rehabilitation. Volume 24. Issue 3. 2020. - PP.261-267.((41)(SCImago)

8. Зарипов О.О., Мамиров У.Ф., Шукурова О.П. Итерационные алгоритмы регулярной идентификации объектов управления большой размерности // Мухаммад ал-Хоразмий авлодлари, №2 (12), июнь 2020. 136-138 с. (05.00.00; №10)

9. Zaripov O.O., Shukurova O.P. Adaptive estimation algorithms with adjustment of noise covariance matrices in object and measurement interference // International Journal Of Advanced Research In Science, Engineering And

II бўлим (Часть II; Part II)

10. Шукурова О.П. Формализации задачи оптимального распределения нагрузок для параллельно соединенных абсорберов в газопромышленном производстве / Республиканская научно-техническая конференция «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли» Навоий – 2012. 265-267 с.

11. Sevinov J.U., Holkhodjaev B.A., Shukurova O.P. Algorithm of steady estimation of parameters of the stabilizing regulator in the task about dissipativity of the adaptive control system / Eighth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation «WCIS- 2014». Tashkent, 2014. -pp.271-273.

12. Шукурова О.П. Математическое моделирование абсорбционных колонн тарельчатого типа в газопромышленном производстве / Республика илмий амалий анжумани «Ишлаб чиқариш корхоналарининг энергиятежамкорлик ва энергия самарадорлик муаммоларини ечишда инновацион технологияларнинг аҳамияти». –Қарши. 2016. – 166-168 б.

13. Шукурова О.П. Анализ эффективности модифицированных алгоритмов параметрического оценивания на основе динамических фильтров / Республика илмий техникавий анжумани «Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишда энергия тежамкорлик муаммолари». – Қарши. 2017. –314-315 б.

14. Зарипов О.О., Шукурова О.П. Алгоритмы адаптивного оценивания характеристик шума объекта и помехи измерения в системах управления / IX xalqaro ilmiy – texnikaviy anjuman «Kon meiat্তুrgiya majmuasi: yutuqiar, muammoiar va rivojiantirishning zamonaviy lstitqbollari». – Navoiy. 2017. -498 б.

15. Зарипов О.О., Шукурова О.П. Алгоритмы адаптивного оценивания состояние технологических объектов управления / Республика илмий амалий анжумани «Инновацион ривожланиш муаммолари: ишлаб чиқариш, таълим, илм – фан». – Андижон. 2017. – 557-558 б.

16. Igamberdiev H.Z., Yusupbekov A.N., Karimov D.R., Shukurova O.P. Stable Algorithms for Adaptation of Objects with Control Delay / ICSCCW 2019: 10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions - ICSCCW-2019. –pp. 735-740.

17. Зарипов О.О., Шукурова О.П. Устойчивые алгоритмы идентификации динамических объектов управления / Халқаро илмий анжуман "Замонавий ишлаб чиқаришнинг муҳандислик ва технологик муаммоларини инновацион ечимлари" Бухоро 2019 14-16 ноябрь. 226-227 б.

18. Зарипов О.О., Шукурова О.П. Регулярные алгоритмы адаптивного оценивания состояния технологических объектов управления на основе идентификационного подхода / Республика илмий техникавий анжумани “Ахборот-коммуникация технологиялари ва дастурий таъминот яратишда инновацион гоълар” Самарқанд 2020 15-16 май. 72-74 б.

19. Зарипов О.О., Шукурова О.П. Алгоритмы идентификации ковариационных матриц в динамическом фильтре калмановского типа / International scientific and technical journal “Innovation technical and technology”, Vol. 1 No. 1 (2020): STJITТ Jun 9, 2020. 39-42 с.

20. Зарипов О.О. Шукурова О.П. Программное обеспечение для автоматического расчета расхода газа в трубах на основе заданных параметров / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. DГУ 08912, 29.08.2020.

Автореферат "Техника фанлари ва инновация" илмий журнали таҳририяида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитура рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табоги: 3. Адади 100. Буюртма № __.

«Тошкент кимё-технология институти» босмаҳонасида чоп этилди.
100170, Тошкент, Навоий кўчаси, 32-уй.